GISEMENTS FILONIENS:
Technologies, innovations et perspectives.

S. Dufresne, N. Billette, R. Gaétan, R.W.D. Clarke

MRL 89–70 (TR) Juin 1989

This document is an unedited interim report prepared primarily for the use of Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET)

Ce document est un rapport provisoire non-révisé et rédigé principalement pour fin de diffusion et de documentation sans qu'il ne représente nécessairement l'expression définitive de l'opinion du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET)

MICROMEDIA

93 pp

90-03369/

Gisements filoniens: technologies, innovations et perspectives.

par

S. Dufresne, [1] N. Billette, [2] R. Gaétan, [3] R.W.D. Clarke. [4]

SOMMAIRE

Ce rapport est une synthèse de l'information provenant d'une revue de la littérature qui fut réalisée dans le cadre d'une entente de participation entre l'Association minière du Québec, l'Université Laval, le Centre de recherche minérales (CRM) et le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET).

L'objectif poursuivi au cours de cette étude est d'accroître les connaissances et les performances des techniques d'exploitation des gisements filoniens de puissance inférieure à 2 mètres.

Le projet de recherche est composé de trois (3) phases principales, soient: une revue des technologies existantes, le développement de nouvelles technologies liées à l'exploitation des filons étroits et la mise en oeuvre des concepts élaborés dans les phases précédentes, en les introduisant et les perfectionnant dans les opérations minières.

Mots-clés: Gisements filoniens, filons, minage en veine étroites, technologie, innovation.

1) Chercheur en sciences physiques, Laboratoire canadien de technologie minière, Laboratoires de recherche minière, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa, Ont., Canada.

2) Chercheur scientifique, Laboratoire canadien de technologie minière, Laboratoires de recherche minière, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa, Ont., Canada.

3) Coordonnateur de projets, Laboratoire canadien de technologie minière, Laboratoires de recherche minière, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa, Ont., Canada.

4) Conseiller principal en exploitation minière, Laboratoire canadien de technologie minière, Laboratoires de recherche minière, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa, Ont., Canada.

CANMET a réalisé, dans le cadre de cette entente, une revue de la littérature concernant de telles opérations au Canada (à l'exception du Québec, responsabilité du CRM) et à l'étranger. Une description des articles est présentée dans le rapport MRL 89–69 (TR) intitulé 'Littérature sur les gisements filoniens canadiens (hors Québec) et étrangers'.

CANMET est en voie de compléter une enquête auprès des mines filoniennes canadiennes hors Québec. L'information recueillie fera l'objet d'un rapport technique distinct (à déterminer).

Le présent rapport réfère à la première phase. La première partie est un résumé des innovations réalisées au cours des dernières années, afin d'accroître la productivité des gisements filoniens. C'est une synthèse des technologies disponibles dans chaque secteur d'activité de la séquence d'exploitation des gîtes filoniens.

La deuxième partie énumère certains critères qu'il faut considérer afin d'orienter les activités de recherche dans ce type d'exploitation. De plus, des domaines potentiels de recherche sont présentés.

Narrow Vein Mining: Technologies, Innovations and Outlook.

by

S. Dufresne, [1] N. Billette, [2] R. Gaétan, [3] R.W.D. Clarke. [4]

SUMMARY

A multi phase research project on narrow vein mining was undertaken by four major organizations. The first phase of the project, to determine problems presented by narrow veins and the methods used by the operators to get around those problems, is completed. In subsequent phases of the project the participants will act in concert to develop solutions to some of the problems and to introduce the solutions to the mining industry.

The participants in the project are the Association minière du Quebec (AMQ), Laval University, the Centre du recherches minérales (CRM) and CANMET's Mining Research Laboratories. Mines operating in Quebec were surveyed by the CRM. Mines operating in the rest of Canada and outside of Canada were surveyed by CANMET's Mining Research Laboratories. The survey results are reported in the report 89–69 (TR), "Literature Survey on Narrow Vein Mining inside and outside Canada".

The present document is composed of two parts. The first part treats the information gathered from the mines presented in terms of the component mining operations involved. Present technology used in the various operations is described and analyzed.

The second part treats the specific parameters that should be taken into account when considering research orientations for narrow vein mines. It also indicates some potential useful research programs that co ld be undertaken.

Keywords: Narrow Vein Deposits, Veins, Narrow Vein Mining, Technology, Innovations.

1) Physical Scientist, Canadian Mine Technology Laboratory, Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, Ont., Canada.
2) Research Scientist, Canadian Mine Technology Laboratory, Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, Ont., Canada.
3) Project Coordinator, Canadian Mine Technology Laboratory, Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, Ont., Canada.
4) Senior Mining Advisor, Canadian Mine Technology Laboratory, Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, Ont., Canada.

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire	i
Summary	iii
Buts de la recherche	vii
Notes des auteurs	ix
Liste des tableaux	xi
Liste des figures	xiii
Liste des symboles	xv
Conversions d'unités vers le système international	xvii
Introduction	1
PARTIE I : SYNTHÈSE DES TECHNIQUES ET TECHNOLOGIES	**2**
1. Définition géologique des gisements.	5
2. Forage, sautage et équipements de percement.	7
3. Méthode de minage.	9
4. Chargement et transport en chantier et en galerie.	19
5. Soutènement et remblayage.	27
6. Problèmes opérationels.	29
7. Santé et sécurité au travail.	30
8. Réduction des coûts.	31

PARTIE 2 : PROBLÉMATIQUE ET AVENUES DE RECHERCHE 33

9. Particularité des gisements filoniens. 35

10. Géologie. 36

11. Abattage. 38

12. Services. 42

Conclusion 49

Références 51

Références classées par sujet 59

Figures 65

BUTS DE LA RECHERCHE

Une partie importante de la production minière canadienne provient d'opérations de type "gisements filoniens étroits", c'est–à–dire exploitant des veines de puissance inférieure à 2 mètres. Cette portion de la production nationale devrait au moins se maintenir, sinon croître, au cours des prochaines années.

Dans le but de maintenir, voir même favoriser, l'exploitation économique de ces gisements, CANMET s'implique afin de contribuer à l'évolution des techniques et des technologies, et permettre à l'industrie canadienne de surmonter la concurrence internationale.

Cette participation est davantage marquée par le fait que CANMET s'associe avec l'Association minière du Québec (AMQ), l'Université Laval et le Centre de recherches minérales (CRM), au développement de ces technologies.

Le programme de recherche est composé des 3 phases suivantes:

Phase I : Définition des problèmes rencontrés dans les gisements filoniens;

Phase II : Caractérisation des problèmes et élaboration de solutions;

Phase III : Développement de proc´dés, d'équipements spécialisés, et implantation dans les opérations minières.

Le présent rapport se réfère à la première phase. Il est composé de 2 parties orientées vers l'accroissement de la productivité des opérations du type "gisements filoniens étroits". C'est une synthèse des technologies disponibles dans ce type d'opération, distribuées suivant chacune des étapes de la séquence du cycle d'extraction. La deuxième partie présente les champs d'activité, vers lesquels une attention particulière devrait être portée en planifiant la recherche future.

NOTES DES AUTEURS

Ce rapport résume, par secteur d'activité minière, les techniques et technologies utilisées dans une série de mines actives exploitant des gisements composés de filons étroits, de puissance inférieure à 2 mètres. Cette dimension de coupure, pour fin de définition, est arbitraire mais représente une réalité car on observe que les exploitations opérant dans des ouvertures inférieures à cette dimension connaissent des problèmes particuliers.

Les gisements possédant de telles veines sont appelés 'gisements filoniens' ou 'gisements à veines étroites'.

Plusieurs des problèmes rencontrés dans ces opérations existent également dans les exploitations à filons plus puissants. Cependant, les dimensions et la géométrie de ces petites veines ont des incidences majeures sur l'ensemble de l'opération. La définition géologique, le suivi des veines, la dilution, le choix de la méthode de minage et la disponibilité d'équipements de minage appropriés sont des problèmes chroniques, qui affectent directement la profitabilité de l'entreprise.

Une revue de la littérature réalisée par CANMET, constituant la base de la première partie de ce rapport, est présentée dans le rapport MRL 89-69 (TR) intitulé 'Littérature sur les gisements filoniens canadiens (hors-Québec) et étrangers'. Les idées émises au cours de la deuxième partie devraient être d'intérêt pour l'ensemble de l'industrie minière canadienne.

Systèmes d'unités:

Les 3 systèmes d'unités sont utilisés dans le rapport MRL 89-69 (TR): systèmes international, impérial et américain. Un tableau d'équivalence a été rédigé afin de convertir les principales unités vers le système international, officiellement utilisé au Canada. À noter que certaines valeurs furent arrondies. Il est toujours préférable de se servir des mêmes unités que celles présentées originalement. En tout temps (dans les nombres), la virgule sert à séparer les entiers des fractions.

Afin d'alléger le texte, les unités furent abrégées. Elles sont décrites dans la liste des symboles.

X

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Titre	Page
1.1	Variation de la teneur en fonction de la largeur de l'ouverture.	6
3.1	Comparaison entre l'ancienne méthode de coupe et remblai ascendante, la nouvelle méthode de coupe et remblai descendante et celle de coupe et remblai mécanisée, sur une base de coût par tonne – mine Fontane (13).	9
3.2	Sélectivité des CT 500 HE (ouverture de 1,0 m) et des EHST–1A (ouverture de 1.8 m) en fonction de la puissance des veines.	10
3.3	Variation de la production de métal depuis l'introduction du microscoop à la mine Huaron (15).	11
3.4	Comparaison des tonnages et teneurs pour différentes veines exploitées par différents équipements.	12
3.5	Comparaison économique entre 2 variantes de la méthode par chambre magasin, en fonction de la hauteur de la veine.	13
3.6	Comparaisons et résultats de 3 techniques de minage par méthode des sous–niveaux et de la technique de minage à l'aide d'un brise roche hydraulique.	15
4.1	Caractéristiques techniques du microscoop CT 500 HE.	20
4.2	Sélectivité comparative de certains équipements de halage en chantier.	21
4.3	Comparaison économique entre les racloirs et les microscoops.	22
4.4	Caractérisation du gisement Huaron (15) à partir de la fréquence des veines, classées suivant leur puissance.	22

Tableaux	Titre	Page
4.5	Production horaire des JCI 50M en fonction de la distance de halage.	23
4.6	Production horaire des microscoops en fonction de la distance de halage.	23
4.7	Comparaison des coûts d'opération entre le CT 500 HE dans une veine de 1,1 mètre de puissance, et le EHST–1A dans une veine de 1,8 mètre de puissance.	25
4.8	Coûts d'entretien du microscoop.	26

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
3.1	Exploitation d'un chantier du complexe minier du Fraisse.	67
3.2	Armature de la dalle de béton utilisée dans les mines du siège minier du Fraisse.	68
3.3	Méthode de minage par coupe et remblai descendante pratiquée à la mine Cluff.	69
3.4	Vue en plan et en coupe du gisement de la mine Apex (17).	70
3.5	Méthode à double sautage utilisée à la mine Renison	71
3.6	Minage à double sautage utilisé à la mine Dome.	72
3.7	Minage à l'aide du brise roche hydraulique, utilisé à la mine de Leucamp.	73
3.8	Méthode Alimak.	74

LISTE DES SYMBOLES

Symbole	Description
Ag	Argent
dBA	Décibels
g	Gramme
h	Heure
h–p	Homme–poste
Hz	Hertz
kPa	Kilopascal
kW	Kilowatt
m	Mètre
m^3	Mètre cube
mm	Millimètre
Pb	Plomb
pi	Pied
vg^3	Verge cube
t	Tonne (métrique)
t/h	Tonne par heure
t/h–p	Tonne par homme–poste
Zn	Zinc

CONVERSIONS D'UNITÉS VERS LE SYSTÈME INTERNATIONAL

1 tonne = 1,102 tonne courte

1 once troy / tonne courte = 34,28 grammes / tonne

1 pied = 0,3048 mètre

145 livres par pouce carré = 1 Mégapascal

1 horse power = 0,75 Kilowatt

1 once troy = 31,1 grammes

1 pouce = 25,4 millimètres

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'entente de recherche entre l'Association minière du Québec et l'Université Laval, CANMET et le CRM furent invités à participer, dans un premier temps, à une identification des problèmes rencontrés et des technologies utilisées dans les gisements filoniens.

Les recherches furent orientées comme suit: CANMET serait responsable d'identifier et d'analyser les mines canadiennes hors–Québec, et celles situées hors–frontières. Le CRM mènerait une étude similaire sur le territoire québécois.

Afin d'atteindre ses objectifs, CANMET a entrepris une revue de la littérature (février 1989) à partir de banques de données informatisées. Les banques MINTEC, NTIS et Engineering Index furent consultées. Sur les centaines d'articles obtenus, seulement 21 décrivaient l'exploitation de gisements filoniens possédant des puissances inférieures à 2 mètres.

Pour compléter cette information, quelques mines furent visitées mais, contrairement au CRM qui réalisa des entrevues systématiques, le territoire couvert par CANMET ne permettait pas d'engager les dépenses nécessaires. Cependant 3 mines furent visitées: Dome et Pamour #1 à Timmins, et Lupin dans les Territoires du Nord–Ouest.

Des questionnaires furent envoyés à plus de 30 mines canadiennes hors–Québec. Les résultats de cette enquête ne seront pas discutés ici, mais devraient être présentés ultérieurement dans un autre rapport technique.

Le présent rapport est composé de deux parties distinctes. La première est une synthèse des connaissances techniques et technologiques actuelles, utilisées à chaque étape du cycle de minage d'un gisement filonien. Ces étapes sont: la définition géologique, le forage et sautage, le choix de la méthode de minage appropriée, le chargement et transport en galerie et en chantier, le remblayage et le soutènement, les problèmes opérationnels, la santé et sécurité au travail et le contrôle des coûts.

Le présent rapport présente une synthèse du rapport MRL 89–69 (TR) de CANMET intitulé 'Littérature sur les gisements filoniens canadiens (hors–Québec) et étrangers'. Ce dernier décrit 21 mines et les techniques spécifiques de minage qui furent identifiées, suite à une revue détaillée de la littérature.

La seconde partie dépeint plusieurs autres problèmes rencontrés dans les gisements filoniens, qui ne furent pas soulignés dans les articles publiés et présente des idées, concernant certaines avenues de recherche futures. Celles–ci proviennent de deux réunions d'un groupe de chercheurs de CANMET, dans le but d'identifier des domaines potentiels de recherche qui pourraient donner lieu à des innovations à court ou moyen terme.

PARTIE I : SYNTHÈSE DES TECHNIQUES ET TECHNOLOGIES

1. DÉFINITION GÉOLOGIQUE DES GISEMENTS.

Les techniques communément utilisées afin de caractériser la minéralisation, pendant les travaux de développement et en cours d'opération, consistent à pratiquer des sondages aux diamants, des cannelures, ou à récupérer les copeaux de forages de production. Des échantillons en vrac assurent, en certain cas, un contrôle dans le cheminement physique du minerai. Les résultats des échantillons envoyés pour analyse au laboratoire sont généralement disponibles dans des délais variant de 8 h à 24 h.

La connaissance précise de la minéralisation est un des éléments essentiels au choix approprié de la méthode de minage, du contrôle de la dilution et de l'optimisation de la récupération. Il est donc particulièrement important d'identifier les bons paramètres de minage et de recueillir l'information pertinente.

Plusieurs mines éprouvent des difficultés à caractériser leur minéralisation et à pratiquer un suivi des veines, sans rencontrer des problèmes sérieux de dilution et de planification. Pour certaines, par contre, ceci constitue un handicap majeur.

La gestion des données géologiques peut être réalisée à l'aide d'ordinateurs. Cette procédure permet d'identifier plus précisément les endroits où le minerai est présent, en procédant à des analyses géologiques, structurales, statistiques et mathématiques plus approfondies.

Ce traitement de données permet de considérer des modèles d'interprétation qui auraient été autrement écartés par manque de temps, ou manque de disponibilité. Un plan d'exploitation plus éclairé et, par le fait même plus judicieux, peut être élaboré. L'accès à des résultats d'analyses sur ordinateur permet de transférer les informations au personnel compétent, au moment opportun, et de choisir la méthode d'abattage la plus apte. Ceci permet d'optimiser la récupération du minerai pour chaque type de minéralisation, tout en minimisant les pertes de minerai et la dilution.

Les performances obtenues lors de l'extraction, peu importe la méthode de minage, sont en relation directe avec la qualité de l'information provenant des analyses géologiques. Ces dernières entraînent un ajustement convenable de la largeur des chantiers et ultérieurement un choix d'équipements appropriés (tableau 1.1). En procédant à des études similaires, la mine Huaron (15) * a pu caractériser son gisement en identifiant les zones à teneurs économiques intéressantes et ainsi augmenter ses réserves

* Réfère au numéro de la mine répertoriée dans la liste des références ayant servie à la rédaction du rapport MRL 89-69(TR).

TABLEAU 1.1
Variation de la teneur en fonction de la largeur de l'ouverture.
Mine Forest Hill (4)

OUVERTURE THÉORIQUE (Mètres)	TENEUR (g/tonne)
0,1	100
0,25	40
0,5	20
1,0	12
1,5	8
2,0	7
2,5	5
3,0	3

globales de 6,8%, ce qui correspond à 300 000 tonnes de minerai contenant des concentrations importantes en différents métaux.

La bonne connaissance de la géologie d'un site permet d'évaluer si la minéralisation est présente sous forme de veines pincées, renflées, de direction et pendage constants ou variables, et ainsi déterminer si une méthode de minage moins coûteuse, telle une méthode en vrac, est acceptable, ou si un abattage sélectif mais plus dispendieux est mieux approprié.

2. FORAGE, SAUTAGE ET ÉQUIPEMENTS DE FONÇAGE.

La majorité des mines à filons étroits pratiquent un forage de type conventionnel, utilisant des équipements à percussion, hydrauliques ou électriques.

Les perforatrices pneumatiques manuelles, à patte fixe ou flexible (stoper, jack-leg), sont de loin les équipements les plus utilisés. La force motrice demeure l'air comprimé dans la presque totalité des cas. Aucune des mines étudiées ne fait usage de perforatrices manuelles opérant hydrauliquement.

Plateformes de forage:

La principale innovation concerne le développement de plateformes sur lesquelles des perforatrices conventionnelles sont montées. Généralement, elles supportent 2 foreuses (9). Les côtés de ces plateformes se rabattent, permettant aux mineurs d'accéder et de forer plus facilement les trous horizontaux à proximité du toit. La productivité atteinte à l'aide de ce système est supérieure à la méthode traditionnelle, car elle facilite le forage des trous, en augmentant la stabilité des foreuses et en réduisant les manoeuvres manuelles.

Les perforatrices se déplacent sur une glissière réversible en aluminium. Les trous forés mesurent jusqu'à 12 pi (3,7 m) de longueur. On utilise des tiges de 4 pi (1,2 m). Un centralisateur en acier permet de fixer l'extrémité de la glissière. Le forage à l'aide de cet équipement requiert cependant une ouverture verticale de 9,5 pi (2,9 m). Une productivité de 600 pi (183 m) par homme–poste peut être atteinte.

Une autre innovation dans ce secteur est le développement d'une plateforme supportant des perforatrices Secan S–36 (3). Cette plateforme autopropulsée de marque Boart est montée sur 3 pneus et permet le forage de longs trous verticaux en éventail. On parvient à forer 50 m/h–p à l'aide de cet équipement.

Récemment, le développement de mini–jumbos hydrauliques a permis d'accroître les performances de forage. Ils sont équipés d'une seule flèche. La nécessité de pratiquer une ouverture minimale de 6 pi (1,8 m) de largeur constitue leur principal inconvénient.

Ceci résume les principales technologies de forage utilisées présentement dans les mines investiguées. Certains équipements ont été assemblés sur place, dans les ateliers des mines, faute de disponibilité sur le marché pour satisfaire leurs besoins.

La compagnie Dome (3) étudie une unité de forage électrique–hydraulique, constituée d'un chariot transporteur équipé de perforatrices. L'équipement permettrait de remplacer les unités présentement utilisées dans les chantiers.

Brise roche hydraulique:

Une technique de percement sur plateforme, utilisant un brise–roche monté sur un bras télescopique, fut étudiée dans les opérations françaises (11). Ce système expérimental a servi à exploiter une tranche minéralisée sur une hauteur de coupe de 1 mètre. Le minerai était directement récupéré par une chargeuse. La galerie était reprofilée, une fois le minerai excavé. Les résultats démontrèrent les possibilités de cette méthode, bien que ce ne fut qu'un prototype assemblé pour fins d'essais.

Autres technologies:

À l'exception des processus de forage à percussion, aucun autre type de mécanisme de rupture des roches n'a encore été mis en oeuvre afin de miner les gisements étroits, tel le minage en continu.

Les principaux essais réalisés afin d'améliorer les résultats de sautage consistent à optimiser le fardeau et l'espacement. Certaines techniques sont utilisées afin de minimiser la dilution dans les chantiers. Elles ne sont pas récentes, mais leur application semble donner des résultats concluants, surtout dans les massifs rocheux où la résistance des épontes et du minerai est faible. C'est le cas des techniques de forage de précision, de pré–découpage et périmétrique (4), bien que la technologie ne soit pas très répandue dans les entreprises exploitant des gisements filoniens.

Le forage de précision, conjugé à une longueur limitée des trous, permet de prévenir la déviation excessive de ceux–ci et d'éviter de forer dans les épontes. Les problèmes de dilution suite à l'endommagement de ces épontes sont ainsi minimisés.

3. MÉTHODES DE MINAGE.

A: Méthodes sélectives

Abattage par coupe et remblai:

La méthode de minage la plus communément utilisée est la coupe et remblai (12 des 21 mines). Cette technique offre 2 variantes, soient la coupe par tranche ascendante (7 mines) et la coupe par tranche descendante (5 mines). Cette méthode requiert un apport important de main–d'oeuvre. Trois opérations pratiquant la coupe et remblai ascendante se sont converties à la méthode descendante, suite à des problèmes de résistance des épontes et du toit (13) (17) (19). Le tableau 3.1 présente le cas de la mine Fontane (13) qui a converti, dans un premier temps, sa méthode de minage de coupe et remblai ascendante à coupe et remblai descendante, puis dans un second temps, en mécanisant ses activités de chargement – transport en chantier (passant d'un halage manuel des wagons sur rails au halage pratiqué à l'aide des microscoops CT 500 HE).

TABLEAU 3.1

Comparaison économique entre 3 méthodes de minage utilisées dans une mine. Les coûts d'opération et de capital, ainsi que la production moyenne sont basés sur une valeur fictive de '100'

Mine Fontane (13)

DESCRIPTION	MÉTHODE DE COUPE ET REMBLAI		
	ASCENDANTE	DESCENDANTE	DESCENDANTE MÉCANISÉE
Achat d'équipement	2	1	3
Entretien & énergie	1	1	1
Main–d'oeuvre (minage)	126	86	52
Matériaux (minage)	16	12	12
Total	145	100	68
Production moyenne par poste	72	100	175
Section des chantiers (m^2)	4,5	8,0	8,0

La mécanisation permet également à la mine Con (2) d'escompter une productivité de l'ordre de 30 t/h–p à l'aide de sa nouvelle méthode ascendante mécanisée.

Le minage par coupe descendante, avec rampe intégrée (12) dans la minéralisation, présente l'avantage de minimiser le minage de stérile (figure 3.1). Le stérile a pour effet de réduire la valeur économique du bloc de minerai à exploiter. Une autre variante de cette méthode permet l'exploitation des tranches en utilisant une monterie pour le hissage de la chargeuse, plutôt qu'un accès par rampe. Le choix entre une rampe intégrée dans la minéralisation et une monterie pour le hissage de la chargeuse est fonction de la longueur de la minéralisation et de la disponibilité d'une cheminée à minerai. Lorsque la longueur est limitée, la chargeuse peut également devenir captive du chantier. Dans ce cas, un engin à propulsion électrique serait préférable.

La coupe et remblai est une technique utilisée dans des gisements étroits subverticaux. C'est une méthode sécuritaire qui donne une très bonne sélectivité. Ce dernier paramètre dépend directement de la largeur de minage réalisée. C'est une méthode qui peut devenir très productive, lorsque mécanisée à l'aide de petits équipements, telles les mini–chargeuses. On peut alors accroître la sélectivité tout en réduisant la largeur des chantiers (tableau 3.2), mais surtout en laissant sur place des blocs de stérile – cause de dilution – et en diminuant l'importance du cycle de remblayage.

TABLEAU 3.2

Sélectivité des CT 500 HE (ouverture de 1,0 m) et des EHST–1A (ouverture de 1,8 m) en fonction de la puissance des veines.

Mine Huaron (15)

PUISSANCE (Mètres)	SÉLECTIVITÉ	
	CT 500 HE (%)	EHST–1A (%)
0,4	40	22
0,6	60	30
0,8	75	44
1,0	100	55
1,2	100	68
1,4	100	80
1,6	100	90
1,8	100	100

À la mine Huaron (15), la mécanisation de la méthode coupe et remblai a permis d'augmenter de 30% la quantité de métal contenu par tonne (tableau 3.3) comparativement à une méthode similaire utilisant un équipement de plus grande dimension. Pour maintenir le tonnage d'alimentation du concentrateur, le nombre de chantiers actifs a été accru de 20% (tableau 3.4).

TABLEAU 3.3
Variation de la production de métal depuis l'introduction du microscoop
Mine Huaron (15)

VEINE	ÉQUIPEMENT DE HALAGE		ACCROISSEMENT (%) DE LA PRODUCTION DE MÉTAL		
	ANCIEN	NOUVEAU	Pb	Zn	Ag
64	EHST–1A	CT 500 HE	43	14	31
66	EHST–1A	CT 500 HE	39	26	128
521	EHST–1A	CT 500 HE	1	2	2
M–32	Racloirs	CT 500 HE	192	101	177

Une variante de la méthode par coupe et remblai descendante, la coupe par tranche descendante sous dalle (1) (12), remplace le remblai par une couche de béton d'environ 1,5 mètre d'épaisseur (figures 3.1 et 3.2). Cette méthode nécessite toutefois une assez bonne tenue des épontes. Le béton est acheminé sous terre à l'aide de conduites. À la mine Cluff (1), l'ouverture pratiquée sous ces dalles est de 4 m de hauteur (figure 3.3).

Lorsque les conditions à l'intérieur et autour de la minéralisation sont très défavorables, une variante particulière de la méthode coupe et remblai par tranche descendante a consisté à réaliser de très petites galeries, de 1,2 m de largeur par 2,1 m de hauteur, sur la longueur de la minéralisation. À la mine de germanium Apex (17), un ciment de polymères est appliqué sur les parois de la galerie, comme un 'shotcrete', afin de limiter la détérioration des murs et du toit pendant les phases d'exploitation et de remblayage. Un remblayage compact est réalisé par la suite. Des coupes adjacentes sont ainsi réalisées à la grandeur du niveau (figure 3.4). Par la suite, des coupes de plus grandes dimensions sont pratiquées sous celles–ci, augmentant considérablement la productivité.

TABLEAU 3.4

Comparaison des tonnages et teneurs pour différentes veines exploitées par différents équipements.

(valeur '100' donnée comme base de référence.)

Mine Huaron (15)

	TONNAGE		% Pb		% Zn		% Ag	
ÉQUIPEMENT*	1	2	1	2	1	2	1	2
VEINE								
64	100	88	100	163	100	181	100	149
66	100	76	100	184	100	167	100	170
521	100	71	100	142	100	200	100	143
ÉQUIPEMENT*	3	2	3	2	3	2	3	2
VEINE								
M-32	100	47	100	128	100	124	100	112

* 1 : EHST-1A, 2 : CT 500 HE, 3: Racloirs.

Il faut noter que, dans cette application particulière, la qualité du remblai utilisé est importante, car l'adhérence entre les différentes coupes latérales est cruciale. Cette procédure permet d'utiliser des équipements de plus grandes dimensions afin d'exploiter les coupes situées sous la tranche initiale. Le choix approprié des équipements qui oeuvrent dans ces petits chantiers constitue le fondement de la méthode de minage.

Des équipements captifs en chantier peuvent accroître la productivité, en permettant de limiter la quantité de stérile provenant des travaux de développement (ce qui aurait pour effet de réduire la valeur économique d'un chantier), ainsi que le temps de mise en valeur (12). Le confinement en chantier d'un équipement devrait être sérieusement considéré, lorsque l'entretien en chantier ne semble pas présenter de problèmes majeurs.

Rendre un équipement captif d'un chantier implique cependant l'allocation d'une machine à une région spécifique (immobilisation ne permettant pas son utilisation à d'autres fins).

Abattage par chambre magasin:

Les chambres magasins constituent également une méthode de minage communément utilisée (5 mines sur 21). Trois variantes sont pratiquées, soient la chambre conventionnelle, la chambre charpentée et la chambre avec points de soutirage (4).

Les deux premières ont des productivités de l'ordre de 4 t/h-p à 6 t/h-p, dépendant de la largeur des chantiers. La méthode à l'aide de points de soutirage présente des productivités de 2 à 3 fois supérieures aux deux autres méthodes. Ces performances sont atteintes à l'aide d'un système mécanisé de chargement du minerai, remplaçant les galeries de raclage au-dessus du niveau.

Le choix de la meilleure des 3 techniques pour un gisement particulier est en relation avec l'extension verticale de la minéralisation. La méthode à l'aide de points de soutirage devient avantageuse (moins couteûse) pour les grandes extensions (tableau 3.5). Les coûts de mise en valeur du chantier expliquent l'évolution en fonction du volume excavé par cette dernière méthode.

TABLEAU 3.5

Comparaison économique entre 2 variantes de la méthode par chambre magasin en fonction de la hauteur de la veine.

Mine Forest Hill (4)

HAUTEUR DE LA VEINE (Mètres)	COÛT ($ minage/tonne)	
	AVEC POINTS DE SOUTIRAGE	SANS POINTS DE SOUTIRAGE
5	151	104
10	113	101
15	102	100
20	96	103
25	92	101
30	88	101

Abattage sélectif à l'aide de la méthode à double sautage (resuing):

Le minage à double sautage (resuing), autrefois sélectif mais peu productif, a fait l'objet d'une réévaluation suite à l'évolution des technologies. Les nouveaux équipements de forage et de halage contribuent à l'accroissement de sa productivité. Cette technique permet théoriquement d'offrir la sélectivité désirée (3) (16). La méthode consiste à forer le minerai et procéder à son sautage ou abattage (figure 3.5). La chambre est alors vidée du minerai. Le sautage de la roche stérile est réalisé par la suite (figure 3.6). Cette roche est étendue uniformément sur le plancher du chantier, afin de procéder au relèvement de la sole. Selon la proportion de stérile à abattre, il peut s'avérer nécessaire d'ajouter du remblai ou de sortir du stérile du chantier.

Cette technique, très efficace lorsque l'éponte supérieure est résistante, permet de minimiser le soutènement requis. En procédant convenablement, on parvient à exploiter la presque totalité du minerai, en minimisant la dilution. La méthode a été pratiquée à différents sites miniers, mais donne des résultats insatisfaisants, résultant de problèmes techniques ou de supervision.

Les problèmes techniques sont principalement liés à la phase de minage impliquant le deuxième sautage. Suite au premier sautage, la roche de l'éponte supérieure est partiellement endommagée, provoquant des chutes de blocs et nécessitant un soutènement plus élaboré. On observe alors une augmentation de la dilution. De plus, les trous forés dans l'éponte inférieure sont partiellement endommagés. Ceci rend difficile leur nettoyage et leur chargement, interrompant la séquence de minage. Le fait d'exécuter un deuxième sautage a pour effet d'abîmer d'avantage les épontes.

L'instabilité des roches de l'éponte supérieure menace la sécurité des travailleurs. Il est dont nécessaire d'interrompre la phase de chargement, afin d'assurer le soutènement de l'éponte, entraînant une réduction de la productivité. Cette méthode impose également un accroissement du temps à consacrer aux cycles de forage et de sautage, ceci ayant une incidence à la hausse sur les coûts d'opération. La dilution (non planifiée) du minerai par le stérile provenant du premier sautage peut facilement atteindre 40%. La productivité atteinte à l'aide de cette méthode varie de 5,5 t/h–p à 6,7 t/h–p.

Certaines opérations démontrent toutefois que les techniques de prédécoupage ou préclivage peuvent réduire de façon significative les problèmes de dilution. Ces techniques modernes méritent considération, lorsque cette méthode d'abattage est envisagée.

Minage à l'aide d'un brise roche hydraulique:

Une technique originale, encore en phase d'essai, consiste à abattre séquentiellement le minerai et le stérile, à l'aide d'un marteau piqueur installé sur une plateforme (11).

Cette technique innovatrice, hautement sélective, permet d'exploiter strictement la zone minéralisée. On conserve de préférence la minéralisation au centre du toit (figure 3.7). Le marteau piqueur est monté au bout d'un bras télescopique, porté par une plateforme. Le minerai abattu est saisi directement dans le godet d'une chargeuse. Pendant la vidange du godet, le marteau s'assure de la compétence du toit, abat le stérile, si nécessaire, et écaille les épontes et le toit. Suite à l'exploitation du minerai, on note que la tenue du toit est meilleure que dans une méthode utilisant des explosifs. Une fois la tranche de minerai exploitée sur toute sa longueur, la galerie est reprofilée à l'aide d'explosifs.

La profondeur d'une coupe peut atteindre 1 m. Des pertes de minerai inférieures à 5% ont été observées, lors des essais. La dilution est limitée, puisque les parois de l'excavation ne sont pas ébranlées par les explosifs lors de la phase de récupération du minerai. Cette méthode n'est pas encore éprouvée. Dans le cas rapporté, le système aurait été plus performant si la traction de la plateforme avait été réalisée à l'aide d'un système sur chenilles plutôt que sur pneumatiques, et en utilisant la propulsion électrique plutôt que diesel.

Cette technique est vulnérable lorsque les filons sont irréguliers. Elle présente cependant une amélioration des performances de l'ordre de 15% à 20% par rapport à une méthode de minage classique (en terme de productivité – tableau 3.6). D'autres investigations devraient être réalisées afin de vérifier sa performance. Cette méthode offre une très bonne qualité de tout–venant, car elle implique peu de dilution, sauf lorsque la minéralisation est irrégulière.

TABLEAU 3.6
Comparaison et résultats des 3 techniques présentées de minage par méthode des sous–niveaux et de la technique de minage à l'aide d'un brise roche hydraulique.
Mine de Leucamp (11)

TAUX DE DILUTION	MÉTHODE DE MINAGE			
(Tonne de quartz par tonne de tout–venant)	Traçage sélectif	Traçage non sélectif	Dépilage	BRH
Obtenu	0,95	0,34	0,65	> 0,95
Coûts comparatifs * (par rapport aux tonnes de quartz)	100	94	–	118

* Valeur de référence de '100' pour le traçage sélectif.
Panneau de 40 m de longueur, 31,5 m de dénivelée et puissance moyenne de 0,38 m.

B: Méthodes de minage en vrac

Abattage par sous-niveaux retraités:

La méthode de sautage en vrac à partir de sous-niveaux (sublevel blasthole) est une méthode qui offre une productivité légèrement supérieure à la chambre magasin (3). Elle en est une bonne alternative. Une sélectivité de 70% peut être atteinte, selon la dimension de la veine. Afin d'éviter une dilution excessive, la méthode requiert des épontes suffisamment résistantes, sans faire appel à un soutènement élaboré. Les chantiers à longue extension verticale doivent pouvoir demeurer ouverts. La sélectivité de cette méthode est cependant restreinte, lorsque les veines sont discontinues. La méthode peut être mécanisée en utilisant les équipements de chargement appropriés.

Abattage par forage horizontal à partir de plates-formes:

La méthode Alimak (22) est une autre alternative économique intéressante, lorsque les filons ne sont pas trop irréguliers. Elle impose une minéralisation assez uniforme sur une distance verticale importante, car l'utilisation de ces équipements est très dispendieuse. En présence de telles conditions, les coûts préparatoires par tonne brisée sont alors réduits.

Afin d'obtenir une production élevée, il faut qu'une plate-forme Alimak soit en production à chaque cycle de minage: une en phase de fonçage de monterie, une en phase de forage horizontal et une qui procède au sautage des trous (figure 3.8). C'est une méthode qui exige une main-d'oeuvre spécialisée lors du fonçage de la monterie, mais peu à moyennement expérimentée pour l'exécution les phases suivantes. Le succès de la méthode est étroitement lié à l'halibité de limiter la déviation des trous horizontaux.

C: Considérations additionnelles

Les méthodes de minage citées précédemment ne sont, pour la plupart, pas récentes. Ce sont principalement des techniques qui existent depuis de nombreuses années, mais qui furent adaptées aux nouveaux types d'équipement de halage en chantier et de transport en galerie.

On note que les 3 principaux critères qui déterminent le choix de la méthode de minage sont la résistance mécanique des massifs rocheux, la géométrie de la minéralisation (pendage et puissance), et la disponibilité d'équipements de minage appropriés au type de gisement. Le développement d'équipements de plus petites dimensions a permis de miner, à dilution constante, des zones minéralisées de puissance réduite. Ces équipements sont plus productifs et permettent une meilleure rationalisation des ressources. Cependant, il faut mentionner que les mines désirant impliquer les concepteurs

d'équipement dans le développement de nouvelles machines se sont heurtées à une certaine réticence.

La définition géologique des épontes et de la minéralisation a également une incidence sur le choix de la méthode. Fondamentalement, il existe 2 types de méthodes, soient les méthodes en vrac et les méthodes sélectives.

Les méthodes en vrac présentent de faibles coûts de production à la tonne. Toutefois, elles créent habituellement plus de dilution, surtout lorsque la minéralisation est mal définie et que les veines sont sinueuses, renflées ou d'orientation variable.

Les méthodes sélectives offrent par contre une dilution moindre, permettant de récupérer un tout-venant plus riche. Cependant, le cycle de production est plus long et les coûts de main-d'oeuvre et d'opération sont plus élevés.

Dans le cas de gisements étroits, la principale méthode utilisée est la coupe et remblai, par tranches ascendantes ou descendantes. L'abattage est très sélectif et l'avènement des nouveaux équipements a permis d'en réduire les coûts. Les petits équipements ont permis de réduire la largeur des excavations et, par le fait même, la dilution (à puissance de veine constante). Comparativement à d'autres méthodes de minage, l'abattage par coupe et remblai permet le forage et le sautage en une seule étape, ce qui n'interrompt pas les procédures de chargement.

Les méthodes de coupe et remblai présentent une faible productivité, lorsque le halage en chantier est pratiqué à l'aide des racloirs. Environ 50% des travaux ne sont pas productifs, en terme de production de minerai. Il s'agit des travaux de fonçage de chute, d'installation des passages du personnel et des services, de la préparation et de la mise en place du remblai. Les mini-chargeuses en chantier ont permis de réduire considérablement cette lacune de productivité. C'est un équipement fonctionnel, dans le sens où il charge et transporte le minerai à l'extérieur du chantier. Les opérations de préparation et d'application du remblai demeurent alors les seules opérations improductives (toujours en terme de production de minerai). La nouvelle méthode de minage ainsi développée est plus flexible. Le transport des équipements au chantier peut être réalisé à l'aide de ces unités, lorsque non captives. Lorsque les équipements diesels sont utilisés, on doit alors considérer les coûts additionnels associés à la ventilation et à l'entretien.

Les méthodes traditionnelles de déblaiement à l'aide de racloirs impliquent le fonçage de chutes, afin d'extraire le minerai. Lorsque la minéralisation est très irrégulière, ces cheminées peuvent être situées jusqu'à 25 pieds à l'intérieur de l'éponte inférieure, lorsqu'elles sont pratiquées avant que la minéralisation ne soit délimitée. Même lorsqu'elles sont aménagées en concomitance avec les opérations, il faut soit accepter de telles

déviations, soit créer une galerie de raclage non planifiée initialement. Dans chaque cas, une partie du développement de la chute est faite dans l'éponte.

Certaines compagnies sont à la recherche de méthodes de minage permettant simultanément le développement et le minage de la minéralisation (3) (22).

On note que l'utilisation d'équipements plus petits permet d'accroître les réserves d'une mine. À dilution constante, si on réduit la dimension des ouvertures, on peut exploiter des veines de puissance inférieure. Le minerai contenu dans ces veines, qui était auparavant non économique, s'additionne aux réserves existantes.

4. CHARGEMENT ET TRANSPORT EN CHANTIER ET EN GALERIE.

Le racloir demeure utilisé, à une fréquence plus ou moins importante, dans un grand nombre de mines filoniennes non mécanisées. Le halage hors chantier est réalisé à l'aide de chargeuses sur rails. Les locomotives électriques et les wagons à bascule latérale sont des équipements communs.

Mini–chargeuses:

La principale innovation concernant le chargement en chantier est le développement de la chargeuse navette de dimensions réduites, soit de moins de 1 m de largeur. Deux modèles sont mentionnés dans la littérature: le microscoop CT 500 HE d'Équipement Minier de France et le miniscoop 50M de John Clark Inc (JCI) (d'autres modèles existent à présent, mais ne seront pas décrits ici, car ils ne sont pas mentionnés dans les articles de la bibliographie). La CT 500 HE est une chargeuse électrique alors que la JCI 50M est un modèle diesel.

Caractéristiques des mini–chargeuses:

Comparativement aux chargeurs culbuteurs, ces chargeuses navettes offrent une plus grande sécurité pour les employés, car l'opérateur est situé à l'arrière ou au centre du véhicule.

L'avantage des mini–chargeuses repose sur leur maniabilité, capacité, sélectivité et leurs dimensions. Dans des applications spécifiques où la surface de roulement est glissante, le couple de traction peut être réduit, afin d'obtenir les performances désirées (13).

Les mini–chargeuses ont une très grande manoeuvrabilité, ce qui permet de suivre les veines sinueuses. Leurs dimensions sont mises à profit dans certaines méthodes de minage où on déplace la chargeuse d'un sous–niveau à un autre, en utilisant un système de monte–charge dans une cheminée (12). Cette technique permet d'éviter le fonçage d'une rampe dans le stérile.

De façon générale, les mini–chargeuses présentent une très bonne pénétration au chargement. La traction sur la roche ne présente aucune difficulté et sa manoeuvrabilité permet de nettoyer aisément un site de travail. En dépit de sa largeur restreinte, de 0,8 m à 1 m, l'équipement est peu versant (tableau 4.1). Sa double articulation lui

TABLEAU 4.1
Caractéristiques techniques du microscoop CT 500 HE.
Mine Cluff (1)

ÉQUIPEMENT	DESCRIPTION
Moteur (kW / Volts / Hz)	22 / 575 / 60
Câble d'alimentation (mètres)	85
Godet (mètre cube)	0,32
Charge (tonne)	0,6
Poids (tonnes)	2,8
Articulation verticale (degrés)	36
Articulation horizontale (degrés)	8
Largeur (mètre)	0,8
Hauteur – avec abri (mètres)	1,969
Longueur (mètres)	3,545

permet de manoeuvrer dans des galeries ayant des rayons de courbure de l'ordre de 1,4 m (15). Sa stabilité est pleinement satisfaisante sur des surfaces irrégulières.

Les chargeuses opèrent adéquatement sur des planchers remblayés hydrauliquement, bien qu'elles tendent à les creuser légèrement. Elles peuvent opérer sélectivement dans la roche fragmentée, afin d'isoler les blocs nécessitant un sautage secondaire. Elles peuvent être utilisées à des fins générales, tel le déplacement de certains équipements, ce qui permet des économies de temps.

Les différentes exploitations minières qui ont utilisé ces chargeuses sont du même avis. Elles permettent une réduction de coûts comparativement à la méthode de halage conventionnelle, une augmentation de la productivité (résultant de ses dimensions et de sa souplesse) et de la sécurité au travail. De plus, le mineur a le loisir de suivre plus aisement la veine, ce qui permet une meilleure sélectivité.

Une des justifications du minage sélectif à l'aide des mini-chargeuses provient de la réduction des coûts de concentration, en augmentant la teneur d'entrée au concentrateur et en diminuant les résidus à manipuler (15).

La sélectivité est un paramètre variant en fonction de la largeur de la minéralisation et de la largeur du chantier nécessaire à son exploitation. Cette largeur est liée

à la dimension des équipements utilisés. Pour une veine de largeur donnée, la mini-chargeuse permet d'accroître la sélectivité, car elle est plus étroite que certains autres équipements (tableau 4.2). Ceci réduit la quantité de stérile à extraire. La dilution est réduite. De plus, sa productivité élevée augmente son avantage économique (tableau 4.3). À sélectivité constante, la mini-chargeuse permet l'exploitation de veines plus étroites (15). L'impact sur les réserves peut être important (tableau 4.4).

TABLEAU 4.2
Sélectivité comparative de certains équipements de halage en chantier.
Mine Dome (3)

PUISSANCE DE LA VEINE	ÉQUIPEMENT / OUVERTURE MINIMALE			
	JC 100E (1,8 m)	Cavo 310 (3,1 m)	CT 500 HE (1,2 m)	Racloir 0,9 m (1,4 m)
0,4	22	18	38	35
0,6	34	25	57	50
0,8	45	34	73	67
1,0	56	43	92	82
1,2	66	50	100	97
1,4	77	60	100	100
1,6	88	68	100	100
1,8	100	76	100	100
2,0	100	85	100	100

Il faut noter cependant que la productivité des mini-chargeuses est très sensible à la distance de halage. À la mine Cluff (1), la productivité est bien supérieure lorsque les activités minières sont situées à proximité de la chute à minerai, par opposition à celles à l'extrémité du chantier (tableau 4.5 pour les mini-chargeuses diesels et tableau 4.6 pour les chargeuses électriques).

Mini-chargeuses électriques:

Les chargeuses électriques procurent des avantages supplémentaires: entretien simplifié, élimination de gaz d'échappement et élimination d'approvisionnement en carburant liquide sous terre. Le rayon d'action optimal d'une chargeuse électrique est de 80 m (dans un sens par rapport au poste de distribution d'énergie).

TABLEAU 4.3

Comparaison économique entre les racloirs et les mini-chargeuses.
(Base de référence: coût d'investissement total des racloirs égale 100.)
Mine Dome (3)

DESCRIPTION	RACLOIR	MINI CHARGEUSE
DÉBOURSÉS DE PRÉ-OPÉRATION		
Achat de l'équipement	16	37
Coûts miniers de développement	84	44
Coût d'investissement total	100	81
COÛTS D'OPÉRATION ANNUEL		
Main-d'oeuvre	38	18
Entretien	2	5
Travaux miniers (chutes, ...)	29	17
Total des coûts d'opération	69	37

TABLEAU 4.4

Caractérisation d'un gisement à partir de la fréquence des veines,
classées suivant leur puissance.
Mine Huaron (15)

VEINE (Mètres)	FRÉQUENCE %	
> 2	33	
< 2 et $> 1,2$	42	67
$< 1,2$ et $> 0,8$	18	
$< 0,8$	7	
TOTAL	100	

Les chargeuses électriques peuvent demeurer captives des chantiers, sans nécessiter de besoins excessifs de ventilation. Dans une mine du siège minier du Fraisse (12), une de ces chargeuses demeura captive pendant une période de 3 ans, sans aucun problème majeur d'entretien.

TABLEAU 4.5

Production horaire des JCI 50M en fonction de la distance de halage.

Mine Forest Hill (4)

DISTANCE DE HALAGE (Mètres)	PRODUCTION HORAIRE (tonnes/heure)
10	16,0
20	14,0
30	12,0
40	10,5
50	9,3
60	8,0
70	7,5

TABLEAU 4.6

Production horaire des CT 500 HE en fonction de la distance de halage.

Mine Huaron (15)

DISTANCE DE HALAGE (Mètres)	PRODUCTION (Tonnes/heure)
20	14
40	10
60	9
80	7
100	6

Le principal problème de la chargeuse électrique est son câble d'alimentation, qui brise fréquemment par usure ou sous les pneus de la machine. De plus, ces chargeuses sont difficiles à déplacer d'un chantier vers un autre.

Mini–chargeuses diesels:

En plus des avantages liés à ses dimensions et sa mobilité, la JCI 50M procure une plus grande autonomie, résultat de son mode de propulsion. Son principal inconvénient est qu'elle nécessite une meilleure ventilation.

Mini–chargeuses vs racloirs:

Les mini–chargeuses présentent une plus grande autonomie que les racloirs. La chargeuse électrique permet le halage sur une distance totale de 160 m, alors que les racloirs sont limités à 30 m. Il n'y a pas de limite physique comme telle pour les chargeuses diesels.

Par rapport aux racloirs, les mini–chargeuses sont plus avantageuses: plus grande sélectivité, mobilité (pas d'installations fixes comme c'est le cas pour les racloirs) et productivité.

Dans les applications où les veines sont géométriquement très irrégulières et variables quant aux teneurs, (de marginal à très riche sur une distance relativement courte), les chargeuses offrent une bonne ségrégation, favorisant un bon contrôle des teneurs (19). Cette sélection est pratiquement réalisable à chaque godet rempli, ce qui n'est pas le cas de la technique de raclage où les processus de minage et chargement en chantier sont indépendants des opérations de chargement et de transport réalisées à l'extérieur du chantier.

Plusieurs opérations minières ont essayé les mini–chargeuses, puis acheté des unités dans une période de 3 mois suivant les essais. Ceci démontre que cet équipement répond à un besoin de l'industrie. La productivité moyenne atteinte à l'aide des mini–chargeuses est de 2 fois celle obtenue à l'aide des racloirs (3). Les mineurs ont démontré une nette préférence pour les chargeuses, car elles éliminent presque totalement les travaux manuels et le nettoyage intensif du plancher des chantiers, requis avec les racloirs.

À la mine Pamour no 1 (8), les coûts de manipulation d'une tonne de minerai à l'aide d'une chargeuse (1 vg^3) sont de 20% inférieurs à ceux obtenus à l'aide d'un racloir, pour une distance de halage 10 fois supérieure dans le cas de la mini–chargeuse.

Cependant, les racloirs peuvent être utilisés lors d'applications particulières, telles que le creusage de sous–niveaux à partir de monterie, et le développement vertical des chantiers (4).

Mini–chargeuses vs chargeuses de 1 vg^3:

Comparativement à un autre type de chargeuse, telle la EHST–1A de 1 vg^3 qui requiert des ouvertures de 1,4 m à 1,8 m, les mini–chargeuses permettent de limiter la largeur du chantier à 1,1 m (15). Pour une veine de 0,8 mètre de puissance, la dilution encourue par l'utilisation des mini–chargeuses est de l'ordre de 27%, alors qu'elle est de 56% pour la EHST-1A (tableau 3.2). La productivité atteinte à l'aide de cette dernière est de 9,64 t/h–p alors qu'elle est de 5,89 t/h–p pour les mini–chargeuses. La productivité de la mini–chargeuse est de 61% de celle de la chargeuse EHST–1A, mais la dilution est réduite de presque la moitié. La CT 500 HE est également moins dispendieuse à opérer (tableau 4.7).

TABLEAU 4.7
Comparaison des coûts d'opération entre le CT 500 HE dans une veine de 1,1 mètre de puissance et le EHST–1A dans une veine de 1,8 mètre de puissance.
Mine Huaron (15)

DESCRIPTION	ÉQUIPEMENTS			
	EHST–1A		CT 500 HE	
	$US	%*	$US	%
Achat	63 000	100	36 400	58
Opération ($/h)	15,00	100	6,20	41
Production ($/t)	21,50	100	18,90	88

* Valeur de '100' donnée comme mesure de référence.

Mini–chargeuses vs transport sur rails:

Les coûts de développement des galeries à l'aide des mini–chargeuses sont réduits de moitié, par rapport à ceux résultant du traçage de galeries avec rails (4). La chargeuse peut aussi être combinée à des wagons Granby, afin de réaliser le transport sur une plus grande distance. Des productivités de l'ordre de 15,5 t/h–p ont été atteintes, grâce à cette méthode (4).

Entretien et coûts des mini–chargeuses:

L'introduction de la mini–chargeuse n'est pas sans problèmes. Les principaux sont la surcharge du véhicule, ainsi que son entretien, qui doit parfois être réalisé en

chantier. Cependant l'introduction de bonis basés sur l'opération des équipements peut permettre d'accroître leur disponibilité. Il est alors important que l'entretien puisse être adéquatement réalisé, c'est-à-dire indépendamment de la volonté de l'opérateur de l'équipement. La direction du département sous-terre devrait coopérer afin de faciliter ces travaux.

Le principal coût d'entretien des chargeuses électriques est lié à son câble d'alimentation (1). Le faible espacement de 0,16 mètre qui sépare la base de l'équipement du plancher et les conditions d'opération (humidité, boue) souvent rencontrées dans les mines, contribuent à son endommagement. De plus, l'articulation de la chargeuse constitue une autre source de problème. Celle-ci a tendance à s'user prématurément et à céder, lors des manoeuvres de chargement.

La mine Cluff (1) possède des coûts d'entretien et de chargement qui sont de l'ordre de 11 $/t ($ 1988) (tableau 4.8). 69% des coûts résultent de la main-d'oeuvre d'entretien, et des pièces. La disponibilité des chargeuses (CT 500 HE) est de 80% à 90%. À la mine Pamour Porcupine no 3 (9), on a observé que les coûts ($ 1975) des pneus étaient de 0,08 $/t, le matériel d'entretien de 0,41 $/t, de main-d'oeuvre pour l'entretien de 0,19 $/t et le coût d'opération de 0,31 $/t. Le total est de 0,98 $/t (note: validité relative quant à la distribution des coûts, et non en terme de chiffres absolus). Il s'agit cependant d'une machine plus volumineuse (1 vg^3), Eimco 911. Encore là, les frais d'entretien correspondent aux deux tiers des coûts globaux d'opération.

TABLEAU 4.8
Coûts d'entretien du microscoop ($ 1988).
Mine Cluff (1)

DESCRIPTION	$/tonne	$/heure	%
Main-d'oeuvre d'opération	2,65	35,00	24
Main-d'oeuvre d'entretien	3,50	46,20	32
Pièces & énergie	4,80	63,30	44
Total	10,90	144,50	100

Autres technologies de chargement et transport:

La mini-chargeuse constitue la seule innovation citée dans la littérature, se rapportant au chargement et transport du minerai en chantier et en galerie. Il semble que le développement de nouvelles technologies dans ce secteur passera inévitablement par une réévaluation des concepts mécaniques de base, liés à chaque opération.

5. SOUTÈNEMENT ET REMBLAYAGE.

Soutènement mécanique:

Les technologies de soutènement mécanique n'ont pas tellement évoluées depuis l'avènement des boulons à expansion de type 'Swellex', ou déformables tels les barres crénelées. Les mines pratiquent généralement un boulonnage systématique à l'aide de boulons à charge ponctuelle, suivant des patrons réguliers. Certaines d'entre elles utilisent du grillage métallique à l'occasion.

Remblais:

Un remblai sec ou hydraulique est utilisé lors du minage par coupe et remblai ascendante, alors qu'un remblai hydraulique cimenté est utilisé lors de l'abattage par coupe et remblai descendante. Les autres méthodes de minage utilisent un remblai sec ou hydraulique afin de remplir, au besoin, les chambres ouvertes. La technique de remblayage utilisée est en relation avec l'infrastructure présente et les types de matériaux disponibles comme remblai (roche stérile ou rejets de concentrateur).

Dans les très mauvais terrains, on utilise parfois des revêtements en béton, style 'shotcrete', afin d'accroître suffisamment la résistance des parois et du toit, ce qui permet de procéder au minage et au remblayage des coupes, avant une détérioration excessive de l'ouverture. Des accélérateurs de prise sont alors utilisés, stabilisant plus rapidement ces couches protectrices sur les parois.

Deux nouvelles innovations ont été développées au cours des dernières années, soient un système de projection du remblai en chantier (17) et le remblai dense (3).

Remblai projeté:

Ce système a été développé par la compagnie Hanna–Beric en Pennsylvanie (17). Il utilise un compresseur de 150 kW à haut débit et faible pression. Ce dernier est monté en série avec un distributeur à remblai mu hydrauliquement (rotary air–lock feeder – RALF). Le concassé servant de remblai est mélangé avec le ciment, puis acheminé dans le système de projection.

Les principaux problèmes reliés à ce système sont la proportion inexacte de ciment injecté dans le mélange et l'usure prématurée des pièces par abrasion. Ces problèmes ont, pour la plupart, été résolus. Le remblai est composé de calcaire et de ciment portland, de granulométrie supérieure à 2 mm. Il est transporté sous–terre par une

conduite de 150 mm. Le produit est éjecté à une vitesse de 45 mètres par seconde. On peut obtenir une meilleure compaction, en variant le contenu en eau.

Des essais réalisés sur des éprouvettes provenant de ces remblais ont présenté des résistances de 5 200 kPa et de 6 200 kPa après respectivement 20 et 30 jours de repos. Le minerai attenant à une chambre ainsi remblayée peut être exploité dans les 7 jours suivant la pose du remblai, et le minage peut être pratiqué sous celui-ci 21 jours après sa mise en place.

Remblai à haute densité:

Ce système de remblai est une technologie relativement récente dans le secteur minier (3). Deux technologies sont présentement à l'essai: utilisation d'une usine de mélange en surface ou sous-terre. Les petites exploitations ne peuvent sans doute pas justifier une usine permanente en surface, de sorte que la technologie du 'Tailspinner' est sans doute la plus appropriée. Dans ce cas, l'eau est extraite des résidus par centrifugation. La sortie des solides présente un remblai composé entre 75% et 80% de matériaux solides. 80% des solides provenant du concentrateur sont utilisés dans le remblai, le complément étant séparé en surface ou lors de l'essorage sous terre.

Les coûts de production de ce remblai sont d'environ 5,50 $/t ($ 1985) de remblai en place, sur une base de production de remblai de 14 t/h. Les coûts de main-d'oeuvre sont d'environ 1,70 $/t ($ 1985), de ciment de 2,30 $/t ($ 1985) et ceux des matériaux et de la main-d'oeuvre d'entretien d'environ 1,60 $/t ($ 1985). Il faut noter que le coût à la tonne de minerai extrait est plus faible, à cause des densités relatives différentes de la roche et du remblai. On notera de plus l'élimination des barricades à la base des chantiers, le faible potentiel de liquéfaction du remblai en place, de même que les besoins réduits de haldes à résidus en surface.

C'est une technique de remblayage particulièrement efficace dans les zones où la retenue des remblais est difficile à réaliser. Elle permet d'utiliser une plus grande fraction des résidus pour des fins de remblayage, avec tous les bénéfices environnementaux qui en découlent.

6. PROBLÈMES OPÉRATIONNELS.

Les principaux problèmes opérationnels rencontrés dans les différentes mines sont liés à la disposition des infrastructures par rapport aux zones minées. Généralement, les distances de halage sont importantes et la solution réside fréquemment dans le développement de nouvelles infrastructures d'envergure, tels le fonçage d'un puits (2) ou d'une voie de halage principale (14).

Aucune technologie n'a été développée afin de résoudre ces problèmes. Le transport par convoyeur est peu considéré.

Dans les chantiers, le minage est limité par certaines contraintes, dont la dimension des équipements. Le développement des mini-chargeuses illustre un cas où l'équipement figure comme l'innovation nécessaire à l'augmentation de la productivité.

On observe que plus les chantiers sont étroits, plus il devient difficile de pratiquer le forage de soutènement des parois et du toit. La productivité est réduite car le positionnement des foreuses devient laborieux.

7. SANTÉ ET SÉCURITÉ AU TRAVAIL.

La santé et la sécurité au travail sont étroitement liées à la méthode de minage choisie, à la configuration physique des lieux de travail et au développement d'équipements appropriés.

Mini–chargeuses:

La conception de mini–chargeuses a permis de réduire l'exposition des employés aux instabilités des murs et du front de taille. De plus, elle a permis une réduction de 30% à 35% en poids de la poussière émise dans l'air, comparativement aux chargeuses à air comprimé. Ceci s'explique par l'absence d'échappement d'air comprimé et par le principe de chargement qui réduit le nombre de manoeuvres du godet nécessaire pour satisfaire un niveau de production donné. De plus, les chargeuses ont permis de réduire l'intensité sonore de l'ordre de 15 dBA.

Les mini–chargeuses ont donc permis de miner des veines plus étroites, de façon sécuritaire et efficace. Les équipements électriques ont, en plus, l'avantage d'éliminer la manipulation de carburant liquide sous terre. Cependant, ceux–ci donnent naissance aux problèmes de sécurité liés à l'utilisation des équipements à propulsion électrique.

Méthode Alimak:

Le développement de la méthode Alimak (22) présente l'avantage de minimiser la fréquence des trous ratés, et d'éliminer les situations où le mineur et présent sous la zone exploitée ou sur la roche cassée (comme en chambre magasin conventionnelle).

Soutènement:

Le minage en chantier étroit, de puissance inférieure à 2 mètres, présente des situations où il devient particulièrement difficile de réaliser le soutènement des épontes (manipulation des perforatrices pour forer les trous), ce qui affecte la sécurité des mineurs.

8. RÉDUCTION DES COÛTS.

La réduction des coûts de minage est étroitement liée aux techniques mises en oeuvre afin de sélectionner une méthode d'abattage optimale, à la fois au niveau du choix des équipements, de la sécurité au travail et des autres composantes de minage.

Équipement et main–d'oeuvre:

Le choix d'équipements, telle la mini–chargeuse, est définitivement un pas dans la bonne direction. On remarque que la majorité des mines qui ont innové dans l'abattage en chantier le firent dans le but de réduire leur coût d'opération. La mécanisation fut donc un des paramètres décisifs. Il en résulte une augmentation de la qualité de vie en milieu de travail, ainsi qu'une productivité accrue.

On doit également noter qu'au moins 50% des coûts totaux d'exploitation sont reliés à la main–d'oeuvre, salaires et bénéfices inclus. Il importe de s'assurer que ces montants soient mis à profit en investissant dans une meilleure formation des mineurs et une gestion du travail adéquate. La mécanisation est également un pas vers l'optimisation des ressources humaines.

Entretien:

L'entretien préventif permet d'accroître l'utilisation des équipements. Il est fondé sur les registres historiques, les temps d'opération, la vie des pièces, les recommandations du fabricant et la planification générale. Il doit être réalisé dans des ateliers spécialisés, mais également en chantier. Son objectif est de réparer et de remplacer les pièces avant qu'elles ne se brisent et/ou endommagent d'autres composantes. L'entretien décentralisé peut présenter des économies importantes, car les retards résultant de l'arrêt d'un équipement de production entraînent des coûts additionnels de main–d'oeuvre et des délais d'opération.

PARTIE II : PROBLÉMATIQUE ET AVENUES DE RECHERCHE

9. PARTICULARITÉS DES GISEMENTS FILONIENS

Les gens du milieu admettent généralement que la recherche concernant les gisements filoniens est assez délicate, puisque la modification d'un élément de l'exploitation entraîne des répercussions sur plusieurs autres, étant donné la nature intégrée de l'ensemble des tâches. Les considérations économiques sont évidemment à la base de tout futur changement, quoique les aspects sécurité et santé des travailleurs puissent parfois intervenir. Il faut, de plus, s'assurer de la collaboration de tous les intervenants de la mine, si l'on veut obtenir un certain taux de succès lors de l'implantation de possibles modifications.

Un autre facteur important à considérer, est l'échelle de ces opérations. Alors que quelques cents la tonne débouchent sur des économies substantielles dans les grandes exploitations, ceci peut ne représenter que quelques dollars par jour dans une exploitation de moins de 1 000 tonnes par jour. Il faut donc considérer des projets qui ont le potentiel de réduire davantage les coûts de production, et non des améliorations secondaires complémentaires, utiles principalement lors du démarrage d'une nouvelle exploitation.

La flexibilité limitée des gisements filoniens empêche une possible fluctuation des marchés d'influencer significativement le niveau de production. Le tonnage quotidien doit être maintenu afin d'assurer la rentabilité continuelle de l'exploitation, sinon l'opérateur peut être confronté à une décision d'arrêt des activités. Le fait de n'exploiter généralement qu'un seul métal ou produit conduit aussi à des situations plus critiques, lors des creux du cycle économique du produit.

C'est pourquoi les éléments discutés ci–après semblent les plus prometteurs lors de projets de développement reliés aux gîtes filoniens. Dans les paragraphes qui suivent, il sera fait mention tout d'abord de la géologie, puis des méthodes d'abattage et des activités de soutien des opérations. Certains projets sont possiblement plus palpables à court terme que d'autres, quoique ceux qui semblent les plus difficiles , les plus éloignés de leur concrétisation, sont peut-être ceux ayant un impact potentiel des plus importants sur la rentabilité des exploitations en veines.

Les auteurs reconnaissent, de plus, que le personnel de soutien est beaucoup plus restreint dans une exploitation filonienne, ce qui réduit pour ces gens la possibilité de se maintenir à jour, tout en limitant le temps requis pour la recherche et l'évaluation d'innovations potentielles. Chaque mine ayant ses propres priorités sociales, techniques, environnementales, il est aussi évident que chacune ne peut considérer chaque projet de recherche sur le même pied. Le comité de recherche de l'AMQ, ou son conseil d'administration, devra certainement définir les éléments de recherche à retenir, tant à court qu'à moyen ou long terme.

10. GÉOLOGIE

Les problèmes liés à la géologie constituent, selon les auteurs, la clé de voûte de toute innovation technologique significative dans les mines exploitant des filons minéralisés. Deux raisons principales expliquent cette priorité:

- d'une part, il est extrêmement difficile de prendre une décision économique éclairée de changement des opérations, lorsqu'il n'y a que deux ou trois ans de réserves assurées;

- d'autre part, il est difficile de sélectionner la meilleure méthode d'abattage, lorsque l'information disponible est trop restreinte.

C'est pourquoi il est impératif de déboucher sur des méthodes d'accès à une information géologique suffisante. Par information géologique, il faut considérer tant les connaissances structurales et géotechniques que les informations sur la teneur de la zone minéralisée et surtout la localisation tridimensionnelle des informations sus-nommées.

Méthodes optiques ou géophysiques

Certaines méthodes optiques ou géophysiques sont présentement au stade du développement et semblent fort prometteuses pour déboucher sur des applications en ce sens. Il serait, entre autres, possible de définir les structures géologiques d'un niveau à l'autre, à l'aide de géotomographie, une méthode avancée de géophysique. Il faut également penser au transfert automatique des données recueillies, compte tenu des ressources limitées de soutien. La technologie utilisée en arpentage sera certes transférable aisément aux instruments à développer ici.

Localisation rapide des trous de forage

La localisation précise des informations recueillies dans les trous de forage est une technique éprouvée, quoique relativement lente. Il faudra peut-être penser à des techniques électroniques plus rapides.

Lecture directe d'informations dans le trou

La lecture des parois d'un trou de forage qui donnerait densité et orientation des joints, information sur les structures et analyse immédiate des teneurs en métaux permettrait de remplacer le forage au diamant, lent et coûteux, par des techniques de forage à foret plein, long trou si nécessaire. Cette technique économiserait des centaines de mètres de galerie, essentielles aux sondages au diamant, en plus de réduire considérablement le coût des sondages mêmes.

Déviation des trous

Il existe présentement des méthodes de déviation des trous de forage, afin d'obtenir plus d'informations à un coût moindre. Cependant, la technique requiert une expertise qui n'est pas à la portée du personnel de toutes les exploitations filoniennes. Une méthode simplifiée, ou plus sure que les techniques existantes, doit être développée pour permette de dévier les trous de forage près de la zone minéralisée. En augmentant ainsi la quantité d'informations disponibles au personnel, et en accélérant la procédure d'acquisition des données, cette technologie augmenterait la productivité et la fiabilité des recommendations.

11. ABATTAGE

Deux aspects principaux sont traités dans cette section: les problèmes de conception et les problèmes opérationnels.

Conception

Au niveau de la conception, CANMET a déjà débuté des travaux préliminaires qui doivent éventuellement conduire à un système expert. Il n'est pas trop difficile d'orienter, dès maintenant, les travaux vers la problématique particulière aux gisements filoniens, qui requièrent habituellement des méthodes sélectives d'abattage. Il ne s'agit cependant pas, selon les auteurs, d'une solution à court terme.

Sélection de la méthode d'abattage

La difficulté d'accès à l'information par les ingénieurs et techniciens préposés à la tâche de conception, les conduisent souvent à une sélection pas toujours optimale, de la méthode d'abattage, basée principalement sur leur expérience antérieure. Il n'est pas aisé d'avoir accès à l'information concernant d'autres méthodes, leurs succès et insuccès. Il arrive très fréquemment que la méthode d'abattage choisie dans une zone de la mine, et qui était adéquate ailleurs, soit complètement inappropriée et coûte une fortune à modifier ou à conserver. C'est pourquoi la méthode de conception tridimensionnelle, supportée par de l'information géologique, structurale, géotechnique, et économique, permettra de définir, à l'aide des logiciels déjà disponibles à CANMET en estimation des réserves et en modélisation numérique, la meilleure sélection dans différents cas documentables.

Cette recherche n'est pas possible à court terme, puisque plusieurs cas doivent être documentés avant d'en arriver à un concept d'expert. De plus, la qualité de l'information géologique de base n'est pas encore accessible au niveau requis pour ce faire. Afin d'utiliser la technique mentionnée ci-dessus, il faudra donc, au début, fixer un certain nombre de variables, de façon à définir l'influence des divers paramètres quantifiables ou quantifiés.

Opérations

Du côté opérationnel, plusieurs éléments méritent une investigation détaillée. Ci-après, on présente un aperçu général de quelques uns de ceux-ci. En effet, il est difficile de définir l'influence de la dilution planifiée et non planifiée, de l'impact de volées

latérales sur la stabilité des épontes et du toit, des relations entre soutènement et dilution, entre soutènement pour des besoins de sécurité présumée et soutènement réellement nécessaire mais pas toujours exécuté.

Formation des mineurs

Il y a de nombreux efforts à faire dans ce domaine. D'une part, il faut transmettre les rudiments du travail réalisé par les explosifs, de façon à améliorer les techniques de sautage périmétrique et de sautage contrôlé. D'autre part, il faut faire ressortir le point que la vitesse de forage n'est pas toujours synonyme de haute productivité, compte tenu des déviations conséquentes qui pénètrent les épontes et endommagent celles–ci lors des sautages et augmentent les risques pour le personnel par la suite. Il en va de même du soutènement qui est très mal compris des mineurs. En effet, ceux-ci préfèrent souvent des boulons avec des morceaux de bois, afin de 'voir le toit travailler', plutôt que des boulons bien vissés qui empêchent ce même toit de travailler, tout en oubliant pas cette perception, souvent erronée, de fausse sécurité d'un toit apparamment sous contrôle.

Foreuses sur chariot

Comme innovations en forage manuel, il y a lieu de remplacer la foreuse sur béquille par des équipements sur chariot. En effet, le syndrôme de Raynaud constitue sans doute le prochain coût différé, dû à l'utilisation de ces machines, que les mines devront débourser. Il faut certainement considérer la facilité de manipuler le véhicule de remplacement, sa manoeuvrabilité, son déplacement dans des ouvertures verticales ou horizontales.

Soutènement réutilisable

Une autre technique qui mérite d'être sérieusement analysée, c'est l'usage de soutènement réutilisable, tel qu'il existe dans les mines de charbon, adapté aux besoins des mines métalliques. Ceci éliminerait les besoins de boulons qu'il faut ensuite abattre et manipuler tout au long du processus de déblaiement, de hissage, de concassage et jusqu'à l'entrée de l'usine.

Exploitation régulière vs systématique

Enfin, les auteurs recommandent de documenter l'impact, dans deux chantiers parallèles et similaires, d'une méthode d'abattage conventionnelle avec murs et parois irréguliers qui 'suivent la veine' avec ses déviations ou poches dans les murs, par rapport à une exploitation régulière de la veine en ignorant les déviations mineures de la veine et les volées latérales, au toit ou au plancher. De la sorte, il serait possible de quantifier la dilution nécessaire pour accéder à cette minéralisation additionnelle, d'en mesurer l'impact sur la productivité ainsi que les coûts reliés dans l'un et l'autre cas.

Déblaiement en chantier

De nombreuses techniques non conventionnelles ont été expérimentées en chantier, afin d'assurer l'évacuation du minerai. Il existe cependant peu d'études documentées de ces techniques. Par exemple, qu'est-ce qui empêche les mines avec des venues d'eau importantes d'utiliser cette eau lors du déblaiement en chantier? D'autre part, un système de brosses, semblables à celles utilisées pour nettoyer les rues, pourrait sans doute être économique dans de nombreux chantiers, en remplacement des techniques de raclage présentement en usage. Il existe certainement d'autres techniques également disponibles et dont la rentabilité mérite une étude sérieuse.

Assemblage rapide des chutes et passages

La construction des passages de personnel ainsi que des chutes à minerai dans les chantiers est à revoir, afin d'accroître la productivité en chantier. Il ne s'agit pas uniquement de reconsidérer les procédures de pose des formes. Ce qui est beaucoup plus significatif au niveau des gains potentiels, c'est le développement de matériaux plus légers, quoique toujours aussi résistants à l'usure, plus manipulables, avec possibilité d'aménagement modulaire.

Lixiviation en place

De plus en plus, les techniques de lixiviation se raffinent et gagnent une fraction toujours plus grande de l'extraction de certains métaux. Le gouvernement américain dépense plusieurs millions de dollars annuellement, à l'intérieur d'un programme de cinq ans, afin de démontrer que la technologie s'applique à divers gisements de cuivre.

L'industrie minière canadienne devrait étudier sérieusement l'application de la technique aux gîtes d'or canadiens. Les problèmes techniques à résoudre dans le cas présent sont le degré de fragmentation nécessaire, la durée requise de lixiviation et la récupération du métal de la solution.

Quoique la cyanuration constitue une technique connue de lixiviation de l'or, celle–ci n'est pas acceptable, pour des considérations d'ordre environnemental et santé des travailleurs. En effet, la contamination de la nappe phréatique demeure potentiellement un problème dans nombre de régions canadiennes. La thiourée, présentement au stade d'essai, constitue sans doute un produit alternatif, utilisable dans les mines d'or du bouclier canadien, sans conséquence néfaste prévisible sur l'environnement souterrain.

Remblai

Les petites mines ont traditionnellement vécu avec des carences régulières de remblai. La plupart du temps, de telles périodes de carences se produisent après que

la mine ait eu de nombreux surplus de remblai, qu'elle a dû acheminer vers les haldes à résidus. Ces carences ont des incidences négatives importantes sur la productivité en chantier.

Entrepôt souterrain

À cause de ces écarts entre la disponibilité et la demande de remblai, qui est tout à fait normale dans une opération souterraine, il serait intéressant de planifier un entreposage du remblai sur les niveaux supérieurs de la mine. Le développement suggéré ne peut toutefois être réalisé sans l'apport de technologies nouvelles qui permettront, d'une part, l'essorage rapide du remblai et, d'autre part, la prompte remise en solution de ce remblai. Ces deux aspects du problème sont évidemment indissociables et devraient être considérés en parallèle.

Essorage accéléré des résidus

Un autre élément important qui peut augmenter la rentabilité du remblai dans les exploitations souterraines, c'est la découverte de liants ou de produits chimiques hydrofuges "bon marché" qui permettraient d'utiliser une fraction plus importante des fines du concentrateur comme remblai. Il faudrait cependant s'assurer qu'aucun phénomène connu ne puisse causer une liquéfaction soudaine du remblai. Le 'Tail-spinner' de Joy produit cette séparation de l'eau et des solides, quoiqu'une proportion importante de fines soit toujours contenue dans l'eau, après séparation.

Une telle procédure d'essorage accéléré pourrait s'appliquer également au remblai mis en place dans les chantiers, réduisant ainsi le temps de cycle et augmentant la productivité des chantiers.

Stérile comme remblai

Pour aider à solutionner le problème de carence de remblai, il serait utile de considérer le stérile comme remblai rocheux recyclable dans la mine même. Pour cela, il faut analyser les techniques de hissage disponibles qui permettent de retourner sur des niveaux principaux ou autres le stérile extrait de niveaux en développement. Il faut aussi envisager les moyens à mettre en oeuvre afin de récupérer ce stérile et assurer son acheminement ultérieur aux chantiers nécessitant du remblai.

12. SERVICES

Dans la section des services, les auteurs du rapport incluent le transport hors chantier, tant des matériaux que du minerai et du stérile. La ventilation, l'arpentage, le concassage, le hissage, le réseau de drainage et l'entretien de la voie de roulage et de la tuyauterie sont également regroupés sous ce terme générique.

Transport sur niveau

Au niveau du transport même, les petites mines ont habituellement plusieurs niveaux de production, chacun équipé de rails pour le halage du minerai et du stérile. Le transport sur rail n'exige que du matériel simple d'opération et d'entretien, exigeant peu d'énergie pour vaincre la friction, mais requérant un entretien constant de la voie.

Cet entretien des voies n'est pas toujours constant. Il arrive que les fossés se remplissent de boues fines, provenant du remblai hydraulique ou des activités de forage. Comme conséquence, la base sous la voie se sature en eau, les dormants bougent et les rails perdent leur rigidité, sans parler d'une pose souvent rapide et non adéquate. Les opérateurs doivent alors réduire leur vitesse, afin d'éviter des déraillements. Une seconde difficulté provient de l'infiltration des boues à l'intérieur des roulements à bille des wagons ou des freins des locomotives, accroissant par le fait même les besoins et les coûts d'entretien.

Nettoyeur de fossés

Une des premières améliorations qui vient à l'esprit concerne le développement d'appareils mieux adaptés et plus rapides pour le nettoyage des fossés. Un tel instrument aurait un impact majeur sur la qualité des niveaux de mines concernées et réduirait considérablement les besoins en entretien des locomotives et wagons. Un appareil à suction pourrait fonctionner, en aspirant dans un wagon (fermé?) les boues du fossé.

Matériaux de fondation

D'autres moyens d'améliorer les opérations de halage consisteraient à développer de meilleurs matériaux pour la construction de la base de la voie, ou de concevoir une procédure à coût abordable permettant d'utiliser le stérile produit par les travaux de développement. Cependant, une meilleure fondation ne peut que réduire les frais d'entretien. Et la réduction des frais d'entretien ne peut que contribuer positivement à la rentabilité globale de telles exploitations minières. De même, la réduction des risques de déraillement conduit à un accroissement de la productivité et de la sécurité du personnel.

Télécommande

Au niveau opérationnel, il est pensable de développer un système de télécommande qui ne s'appuie pas sur la réduction de la tension des freins pour générer le déplacement de la rame, mais qui peut intervenir directement, afin d'activer la puissance de locomotion ainsi que le système de freinage au besoin. Une telle technique réduirait les frais d'entretien liés à une opération de halage du minerai par un seul opérateur.

La résistance actuelle à l'introduction de telles activités effectuées par une seule personne provient en partie des besoins accrus en main–d'oeuvre dans les ateliers d'entretien, le système de télécommande étant très onéreux en freins.

Chargeur rapide

Les locomotives à batterie perdent leur charge au fur et à mesure que la journée de travail s'allonge. Alors que l'énergie disponible en début de poste permet un déplacement rapide de la rame et un freinage sûr, les fins de poste ne permettent pas une traction aussi efficace lors des accélérations et décélérations. Le développement de batteries plus performantes et de chargeurs plus rapides serait le bienvenu. Non seulement la vitesse de charge de la batterie contribuerait-elle à augmenter la productivité, elle permettrait en même temps de réduire les risques d'accident et de déraillement causés par un manque d'énergie qui crée des délais de réaction des locomotives aux sollicitations de l'opérateur.

Wagons sur pneumatiques avec ou sans rail guide

Une innovation majeure consisterait à modifier le système sur rails présentement en usage en un convoi sur pneumatiques. Il y aurait lieu de considérer un rail–guide, au toit ou au sol des galeries. La solution au toit serait à privilégier, étant donné la réduction d'entretien d'un tel système, si populaire dans les établissements agricoles de l'est du Canada, il y a peu d'années. Un autre avantage d'un tel système réside dans le coût d'investissement relativement peu élevé. Le fait de rouler sur pneumatiques élimine les risques de déraillement, réduit les rayons de courbure et augmente la fiabilité du système. Par la suite, il y aurait lieu de considérer l'élimination du rail guide, par une conception des wagons qui assure leur habileté à suivre les traces du wagon précédent, comme c'est le cas des rames de wagons à bagage aux aéroports.

Puits

Les petites mines sont caractérisées par une capacité limitée de hissage du minerai, un temps restreint de hissage, une faible capacité d'entreposage et très peu de possibilités de répondre adéquatement aux pointes de production.

Un autre problème lié au transport du minerai provient de ce que le puits des petites mines est souvent fonçé par étapes. Souventes fois, les cheminées à minerai et à stériles sont discontinues, verticalement, non liées entre elles, lorsqu'elles existent, de sorte que la capacité d'entreposage du minerai au puits fait souvent défaut. Chacun des points de chargement est accompagné d'un puisard et d'une installation de pompage. Ces dispositifs requièrent tous beaucoup d'entretien, qui brise la continuité et diminue le temps disponible pour le hissage.

Cette carence de flexibilité des opérations de hissage entraîne évidemment des inefficacités supplémentaires dans la chaîne des opérations, avec une hausse conséquente des coûts d'exploitation.

Réseau intégré de cheminées à minerai

Pour solutionner ce problème d'inefficacité des opérations de halage sur niveau et de hissage du minerai, il faudrait promouvoir le développement d'un réseau continu de cheminées à minerai et stérile, conduisant à un point de chargement unique au puits. Par surcroît, il faut examiner le coût de foncer le puits trente à cinquante mètres sous le dernier niveau opérationnel, de façon à s'assurer d'une réserve suffisante en dessous de ce dernier.

Automatisation des cages et skips

Une autre innovation potentielle liée à l'opération des puits concerne l'automatisation des activités de hissage. En fait, une technologie éprouvée existe dans tous les ascenseurs publics urbains et il n'y a aucune raison valable de ne pas utiliser cette vaste expérience et de l'adapter au milieu souterrain. Il est certain qu'une partie de cet avantage ne peut se matérialiser en pratique, à cause de l'utilisation du dessous de cage, afin de véhiculer la plupart des matériaux encombrants. Un autre handicap provient des réglementations provinciales, mais il n'y a pas lieu de croire que cette résistance puisse être longtemps entretenue, devant les besoins de rentabilité additionnelle des opérations souterraines et la démonstration de leur degré de fiabilité. Il importe, en effet, de s'assurer d'un gain de productivité de la main-d'oeuvre à ce niveau, compte tenu des cycles dans les prix des minéraux et métaux extraits de gisements filoniens, et de l'importance de ces exploitations dans l'économie canadienne et québécoise.

Construction des puits

Compte tenu du nombre de plus en plus grand de mines qui foncent leurs propres puits, il devient impérieux de rédiger un volume sur l'ingénierie des puits, la construction du collet, du chevalement et du fond d'un puits, incluant non seulement les techniques

traditionnelles, mais aussi les nouveautés du secteur. De la sorte, de nombreuses erreurs présentement commises dans l'aménagement du puits seraient évitées, avec un accroissement conséquent de productivité opérationnelle par la suite.

De plus, un manuel de coûts des diverses méthodes de fonçage du puits, selon les conditions existant dans divers cas, serait le bienvenu pour compléter le volume de conception des ouvrages.

Technologies nouvelles de fonçage

Il faudrait aussi débloquer des fonds pour expérimenter de nouvelles techniques de fonçage des puits, présentement sur la table à dessin, mais qui requièrent des essais en place, afin d'en démontrer les capacités et limites. Il existe plusieurs de ces méthodologies à l'heure actuelle, auxquelles il manque le capital de risque pour en assurer le développement. Plusieurs sont totalement révolutionnaires, mais certaines ne sont que des améliorations à ce qui existe déjà, avec un risque très limité.

Concasseur en souterrain

Une étude s'impose, afin de déterminer la rentabilité relative d'un concasseur en souterrain, par rapport à l'usage d'un brise-roches. Cette étude comparative devrait inclure non seulement les coûts directs d'investissement, d'aménagement et d'opération, mais aussi les coûts indirects que sont l'entretien de l'équipement même, ainsi que la dégradation relative des skips et des trémies dans chaque cas.

Hissage hydraulique du minerai

Certaines mines ont des problèmes majeurs d'infiltration et de drainage. Lorsqu'il est difficile d'augmenter la capacité du puits, il pourrait s'avérer intéressant, dans ces mines, de considérer le hissage hydraulique du minerai. En effet, il leur faut évacuer l'eau de toutes manières, et la possibilité d'accroître la capacité de hissage de la mine, sans investissement majeur, et sans interrompre les opérations, mérite d'être investiguée. Il s'agit certainement d'une technologie très avancée, avec des coûts d'entretien assez considérables, mais le fait de permettre une surcapacité qui pourrait être utilisée lors du haut du cycle des prix ne peut être rejeté du revers de la main, sous prétexte de complexité. De plus, à mesure que la technologie se répandra, les problèmes techniques sus-mentionnés apparaîtront de moins en moins critiques.

L'expérience de Falconbridge Ltée a démontré, qu'à ce jour, cette technologie ne peut remplacer les activités usuelles de hissage, étant donné que les coûts d'opération et les frais d'entretien ne sont pas modifiés sensiblement par une réduction du hissage. Il faut donc envisager cette technologie comme alternative à un investissement pour accroître la capacité.

Énergie

Dans la plupart des mines canadiennes, il existe une diversité de sources et d'utilisations énergétiques. Par exemple, l'air comprimé est utilisé comme moyen de forer et/ou comme moyen de ventilation. De même, plusieurs opérations utilisent des véhicules diesels ou électriques. L'équipement stationnaire est généralement mu à l'électricité. Il y aurait lieu de considérer diverses possibilités dans l'analyse des sources énergétiques et leur mode d'utilisation, afin d'en arriver à des conditions optimales d'opération.

Génération d'électricité

Beaucoup de mines canadiennes sont éloignées des réseaux de distribution électrique des provinces ou territoires. Elles doivent donc générer leur propre électricité par génératrice diésel, la plupart du temps. Il y aurait lieu de considérer des travaux qui conduiraient à utiliser la puissance éolienne, si commune dans une partie importante du pays. Ceci permettrait, par jumelage à des accumulateurs, de subvenir à une partie importante des besoins énergétiques en région. Avec une génératrice à coût d'investissement abordable, la rentabilité de nombreux gîtes filoniens augmenterait et l'activité d'exploration en région s'en verrait accrue d'autant.

Air comprimé

À l'heure actuelle, la principale source d'énergie en usage dans les mines exploitant des filons minéralisés est l'air comprimé. Une étude devrait déterminer des moyens d'accroître la productivité de cette source d'énergie. Y a-t-il possibilité de réduire les fuites? Y a-t-il des alternatives à la situation présente où seulement 20 à 30% de l'énergie générée est utilisée? Compte tenu du fait que nombre de mines canadiennes utilisent du carburant diesel importé sur le site à gros prix et entreposé sur le site pendant plusieurs mois souvent, il importe de s'assurer d'un usage optimal du produit.

Chambre à air

Un des moyens d'augmenter la performance de l'air comprimé, c'est de construire une chambre à air dans une partie désaffectée de la mine. Il s'agit d'une solution très souvent mise en pratique dans le passé et qui a démontré sa rentabilité. Une conséquence immédiate, c'est une stabilisation de la pression durant toute la période d'utilisation par les foreurs (principalement), ce qui n'est pas négligeable au chapitre de la productivité et de la satisfaction du personnel affecté à ces travaux. En effet, dans la plupart des chantiers, les fronts doivent être forés à peu près à la même heure, compte tenu des cycles similaires des diverses méthodes d'abattage.

Il importe de s'assurer que la localisation de la chambre réduise au minimum le trajet subséquent de l'air dans le réseau de tuyauterie desservant les chantiers en opération ou planifiés dans le futur. Un réseau simple d'alimentation en air comprimé réduit les pertes par fuites, de même que la perte de charge due aux chocs et à la friction.

Remplacement de l'air comprimé

Afin de s'assurer d'un rendement maximal des sources d'énergie, il importe d'analyser les possibilités de remplacer l'air comprimé par une autre source d'énergie. Il semble que, de plus en plus, l'électricité remplace l'air comprimé. Le rendement énergétique est de l'ordre de 80 à 90% pour l'électricité, par comparaison à 20 à 30% pour l'air comprimé. De plus, l'entretien du réseau électrique est plus facile que celui de l'air comprimé.

Récupération de chaleur

Compte tenu du coût élevé de production d'énergie électrique aux mines non branchées sur les réseaux publics, il importe d'augmenter nos connaissances et l'efficacité des échangeurs de chaleur. Le coût du litre de mazout peut atteindre 0,60 $ dans certaines parties du Canada, ce qui se transforme en un coût de 0,15 à 0.20 $ le kilowatt. Il devient dès lors intéressant de considérer la récupération de la chaleur comme source énergétique.

Le cas de la mine Selbaie peut servir d'exemple, puisque la mine chauffait tous ses édifices et l'air expédié sous terre à partir de la chaleur générée par les génératrices de courant électrique. De la sorte, l'efficacité énergétique du mazout était considérablement accrue. Plusieurs autres mines canadiennes ont installé un récupérateur de chaleur dans l'air vicié provenant de sous terre, dans le but de recycler la chaleur autrement perdue.

Contrôles de ventilation

Dans la même veine d'idées, l'usage poussé de systèmes moniteurs du réseau de ventilation, incluant un contrôle automatique des ventilateurs et des portes ou régulateurs permettrait de réduire la demande en air frais, particulièrement en dehors des heures de pointe. Des travaux en cours à CANMET permettent d'entrevoir que cette possibilité devienne réalité d'ici la fin du siècle. Compte tenu des périodes prolongées où le chauffage de l'air est requis à nombre de mines canadiennes, des économies majeures d'énergie sont à prévoir, en utilisant cette technologie.

Station de pompage unique

Le fait que nombre d'opérations en gisements filoniens soient appelées à connaître quelques phases d'expansion en cours d'existance, il s'en suivra un certain nombre de

stations de pompage sur différents niveaux dans la mine. Ceci exige parfois plusieurs pompes, aucune ne travaillant nécessairement dans sa zone optimale d'opération, compte tenu des exigences changeantes du volume d'eau à manipuler. Il importe de souligner également les besoins en sous-stations électriques à proximité de telles installations. Ceci a, comme conséquence principale, une infrastructure de pompage plus complexe, plus coûteuse en capitalisation et frais d'opération / entretien.

Il serait sans doute très intéressant de calculer les réductions de coût total qu'entraînerait une seule station de pompage au fond de la mine, quitte à remplacer, lors de chaque expansion, de nouvelles pompes adaptées au besoin additionnel en tête d'eau et en débit.

Comme avantages parallèles non négligeables, le fait de n'entretenir qu'une station de pompage et de simplifier le réseau électrique contribue à l'attrait de cette solution. Il est difficile de calculer ces détails, après que la décision d'expansion ait été prise, de sorte qu'un guide de référence sur la façon d'effectuer les calculs et de prendre la décision la plus juste serait le bienvenu.

Éléments additionnels

De plus en plus, les gens de l'industrie requièrent des petits logiciels informatiques, afin de suppléer à leur manque de personnel technique. Par exemple, des logiciels simples qui calculent le boni, les points d'arpentage et la performance du réseau de ventilation commencent à être utilisés dans les mines de moyenne envergure. Avec un peu d'effort additionnel, il est essentiel que cette technologie pénètre davantage dans les opérations exploitant les filons minces.

De même, il devient impérieux que des programmes soient introduits, afin de représenter la distribution de la teneur dans le dépôt. Chaque information nouvelle ajoutée à la banque de données permettrait d'améliorer l'image que le personnel se fait du gisement qu'il exploite. Sans ces outils, il est difficile de maintenir de telles informations à date, et de procéder au choix judicieux des futurs endroits de forage. Une représentation graphique permet de mémoriser l'ensemble des informations quantitatives et qualitatives liées à des prises de décision plus judicieuses.

CONCLUSION

Une revue de la littérature a permis d'identifier une vingtaine de mines exploitant des gisements filoniens, au Canada et à l'étranger. Le rapport MRL 89-69 (TR) intitulé 'Littérature sur les gisements filoniens canadiens (hors Québec) et étrangers' les présente. La première partie de ce rapport résume les technologies utilisées dans ces mines, par secteur d'activité minière.

Les problèmes opérationnels que rencontrent ces entreprises sont similaires d'une exploitation à l'autre. Sommairement, on peut mentionner la définition géologique et le suivi des veines, la dilution, le choix de la méthode de minage, les conditions de terrain et la productivité.

Une minimisation des coûts résulte d'une définition judicieuse des différentes composantes intervenant dans le minage d'un gisement spécifique, que ce soit la caractérisation géologique, l'installation des infrastructures ou le choix de la méthode d'abattage et des équipements. La santé, la sécurité et la formation du personnel sont également des composantes importantes.

Suite à la revue des techniques et technologies présentement utilisées, on observe que plusieurs problèmes rencontrés par ces mines demeurent parfois sans solution acceptable. Des compromis entre la récupération du minerai, la production, la productivité et la sécurité de la main–d'oeuvre sont continuellement réalisés.

Dans certains domaines, de récentes innovations (plateforme de forage, mini–chargeuses, ...) ont démontré que la réduction des coûts d'opération était lié, d'abord à l'évolution des technologies, puis à l'adaptation et la modification d'anciens principes.

Les idées émises dans la deuxième partie de ce rapport ont pour objectif d'initier la discussion concernant les avenues de recherche pour les années à venir. CANMET est intéressé à participer dans l'organisation et la mise en oeuvre de ces technologies.

RÉFÉRENCES

RÉFÉRENCE

DUFRESNE, S., 'Littérature sur les gisements filoniens canadiens (hors Québec) et étrangers'. Énergie, mines et ressources, CANMET, Laboratoires de recherche minière, rapport MRL 89–69 (TR), juillet 1989.

RÉFÉRENCES DES SITES MINIERS PRÉSENTÉES DANS LE RAPPORT MRL 89–69 (TR)

1. MINE CLUFF, Canada

LAMBERT, F., 'Use of Microscoop in Narrow Stope Mining'. 91ème Congrès Annuel ICM/CIM, 30 avril–3 mai 1989, Québec, présentation 190, 19 pp.

2.MINE CON, Canada

JONES, P.R., 'Cominco's Con Mine'. 1976 Underground Operators Conference, Val-d'Or, CIM, février 1976, 37 pp.

3.MINE DOME, Canada

PERRY, R.J., CHURCHER, D.L., 'The Application of High Density Paste Backfill at Dome Mine'. 91ème Congrès Annuel ICM/CIM, 30 avril–3 mai 1989, Quebec, présentation no.113, 19 pp.

ROBERTSON, B.E., 'Experimental Longhole Narrow Vein Mining at the Dome Mine'. CIM Underground Operators Conference, Sudbury, Ontario, 15–18 f'evrier 1981, 9 pp.

ROBERTSON, B.E., 'Mechanized Narrow Vein Mining at the Dome Mine, Timmins, Ontario'. CIM Bulletin, vol.79, no.885, janvier 1986, pp.39–44.

ROBERTSON, B.E., 'The Mechanization of Narrow Vein Mining at the Dome Mine'. Mining Magazine, octobre 1986 , pp.308–317.

4. MINE FOREST HILL, Canada

WILE, B., 'Narrow Vein Mining at the Forest Hill Mine'. 91ème Congrès Annuel ICM/CIM, 30 avril-3 mai 1989, Québec, présentation 114, 19 pp.

5. MINE GOLDEN PATRICIA, Canada

PEARCE, G., 'Golden Patricia Humming Along'. The Northern Miner Journal, vol. 74, no.52, 6 Mars 1989.

6. MINE KETZA, Canada

ANONYME, 'Belmoral to Buy Ketza Gold Mine'. Northern Miner journal, 26 décembre 1988.

WERNIUK, J., 'Yukon Gold Coming Onstream'. Canadian Mining Journal, Février 1988, pp.19–22.

7. MINE LUPIN , Canada

ANONYME, 'Echo Bay's New Lupin Gold Mine Already Expanding'. Western Miner, Juin 1983, pp.12–16.

ANONYME, 1987 Annual Report of Echo Bay. pp13–16.

CULLEN, R., 'Mining Engineering at Lupin Mine Echo Bay Mines Ltd.'. 87ème Congrès Annuel ICM/CIM, 21–25 avril 1985, Vancouver, présentation no.28, 28 pp.

VATTER, C., 'Current Operating Practices at the Lupin Gold Mine'. Publication interne, octobre 1988, 22 pp.

VATTER, C., 'Operating Practices at Lupin Gold Mine, Cornerstone of Echo Bay Mines Ltd'. Mining Eninering, avril 1989, pp.221–226.

LOREE, T., 'Lupin Leads the Way'. The Norhern Miner Magazine, août 1988, pp.16–23.

8.MINE PAMOUR#1, Canada

HILL, A.R., 'Mechanization of Narrow Vein at Pamour no.1'. First Annual Underground Operator's Conference, section 6, Sudbury, Ontario, 25–28 février 1975, 36 pp.

9.MINE PAMOUR PORCUPINE #3, Canada

GOSLING, T., 'Narrow Vein Cut–And–Fill Mining at Pamour Porcupine Mines, no.3 Mine (Aunor)'. First Annual Underground Operator's Conference, section 6, Sudbury, Ontario, 25–28 février 1975, 36pp.

10. MINE KELLGUANI, Bolivie

MATTHEWS, P.F.P., 'Kellguani, Bolivia – A Manto Tin Deposit'. Mining Magazine, janvier 1985, pp.24–29.

11. MINE DE LEUCAMP, France

BENZ, J.–P., CHILES, J.–P., DUMAS, J.–P., 'Essais comparés de deux méthodes d'abat- tage en filons minces'. Industrie Minérale, vol. 67, décembre 1985, 5 pp.

12. MINE DU SIÉGE MINIER DU FRAISSE, France

AVRIL, R., 'L'uranium français en contexte granitique'. Industrie Minière–Les Techniques, avril 1980, pp.237–247.

CALEIX, C., 'Optimisation des méthodes d'exploitation souterraines des gisements filoniens de la Cogéma en France'. Industrie Minérale–Les Techniques, août–septembre 1985, pp.329–332.

CHAPOT, G., GIACOBBI, J., LES ENFANT, M., POMMIER, M., 'Méthode d'exploitation descendante sous dalle béton'. Industrie Minérale–Les Techniques, novembre 1976, pp.241–247.

HEURLEY, P., VERVIALLE, J.–P., 'Les méthodes d'exploitation du siège minier du Fraisse'. Industrie Minérale–Les Techniques, décembre 1985, pp. 479–488.

POISSONNET, M., POYOL, E., DECOURT, E. et GIRARD, M., 'Développement et variantes de la méthode d'exploitation par tranches unidescendantes sous couronne artificielle bétonnée'. Industrie Minérale–Les Techniques, novembre 1983, pp. 459–468.

13. MINE FONTANE, Italie

PARTRUCCO, M., ROSTAGNOTTO, A., LONGO, G., 'The Use of Rubber Tyred LHDs in Fontane Talc Mine, Italy'. Mining Magazine, juin 1988, pp.460–465.

14. MINE SAN FRANCISCO DEL ORO, Mexique

PAZOUR, A., 'San Francisco del Oro Aims for Higher Productivity'. World Mining, octobre 1980, pp.54–59.

15. MINE HUARON, Pérou

CARDENAS, R.C., 'Huaron Mines Reserves in Narrow and Winding Veins'. World Mining, juin 1983, pp.36–43.

VIX, P., 'Amélioration de la sélectivité par utilisation d'une chargeuse de petite dimension: Le Microscoop'. Industrie Minérale–Les Techniques , novembre 1983, 7 pp.

16. MINE RENISON, Tasmanie

COUNDOURIS, A.N., 'Mine Production at Renison Limited'. The Aus. I.M.M. Broken Hill Branch, Underground Operators' Conference, octobre 1977, pp.21–26.

17. MINE APEX, USA

GUILL, R.W., 'The Apex Mine: A Case Study in Small Scale Undeground Mining and Filling Innovations'. 91ème Congrès Annuel ICM/CIM, 30 avril–3 mai 1989, Québec, présentation no.111, 8 pp.

GUILL, R.W., MacLEOD, K.H., 'The Apex Mine: A Case Study in Small Scale Underground Mining and Filling Innovations'. Innovative Mining Systems, Proceedings of the Second International Conference, University Park, PA, USA, 26–29 octobre 1986, pp.42–44.

18. MINE BLACK PINE, USA

McLAUGHLIN, D., 'Operation of an Optical Ore–Sorting System'. Mining Congress Journal, avril 1980, pp.26–28.

19. MINE BULLDOG MOUNTAIN, USA

SIMONSON, R.A., LOGSDON, G.C., 'The Development and Introduction of LHD Undercut–And–Fill Mining at Homestake's Bulldog Mountain Mine'. Proceedings of the International Symposium on Mining with Backfill, Lulea, 7–9 juin 1983, pp.241–246.

20. MINE REPUBLIC UNIT, USA

REPUBLIC UNIT STAFF and DAYTON, S.H., 'Hecla's Republic Unit: Small Mine Packs a Big Earnings Punch'. E&MJ, décembre 1988, pp.34–39.

21.MINE STILLWATER, USA

TENNANT, H., 'First in North America: Stillwater Opens Platinum/ Palladium Mine in Montana'. Canadian Mining Journal, juillet 1987, pp.13–16.

22. MÉTHODE DE MINAGE ALIMAK

ANONYME, 'Vein Mining with Alimak Raise Climber – A Profitable Mining Method'. Australian Mining, luin 1976, pp.33–36.

ANONYME, 'Raise Climber Cuts Long–Hole Drilling Costs'. Mining Equipment International, mars 1978, pp.39.

SVENSSON, H., 'Vein Mining with Raise Climbers for Economical Narrow Ore Body Stoping'. World Mining, avril 1976, pp.80–83.

RÉFÉRENCES CLASSÉES PAR SUJET

DÉFINITION GÉOLOGIQUE DES GISEMENTS

Mine Bulldog Mountain

Mine Huaron

FORAGE, SAUTAGE ET ÉQUIPEMENT DE FONÇAGE

Mine Con

Mine Dome

Mine Cluff

Mine de Leucamp

Mine Pamour Porcupine#3

MÉTHODES DE MINAGE

Mine Apex

Mine Bulldog Mountain

Mine Con

Mine Dome

Mine Fontane

Mine Forest Hill

Mine Huaron

Mine de Leucamp

Mine Pamour Porcupine #3

Mine Renison

Mine Republic Unit

Mines du siège minier du Fraisse

Mine Stillwater

Méthode de minage par Alimax

CHARGEMENT ET TRANSPORT EN CHANTIER ET EN GALERIE

Mine Apex

Mine Bulldog Mountain

Mine Cluff

Mine Con

Mine Forest Hill

Mine Dome

Mine Fontane

Mine Huaron

Mine de Leucamp

Mine Pamour#1

Mine Pamour Porcupine #3

Mines du siège minier du Fraisse

SOUTÈNEMENT ET REMBLAYAGE

Mine Apex

Mine Bulldog Mountain

Mine Con

Mine Dome

Mine Stillwater

Mine Republic Unit

PROBLÈMES OPÉRATIONNELS

Mine Con

Mine Forest Hill

Mines du siège minier du Fraisse

SANTÉ ET SÉCURITÉ AU TRAVAIL

Mine Fontane

Mine Huaron

Mines du siège minier du Fraisse

Méthode de minage par Alimak

RÉDUCTION DES COÛTS

Mine Con

Mine Fontane

Mine Forest Hill

Mine Huaron

Mine Lupin

FIGURES

FIGURE 3.1

Exploitation d'un chantier du complexe minier du Fraisse.

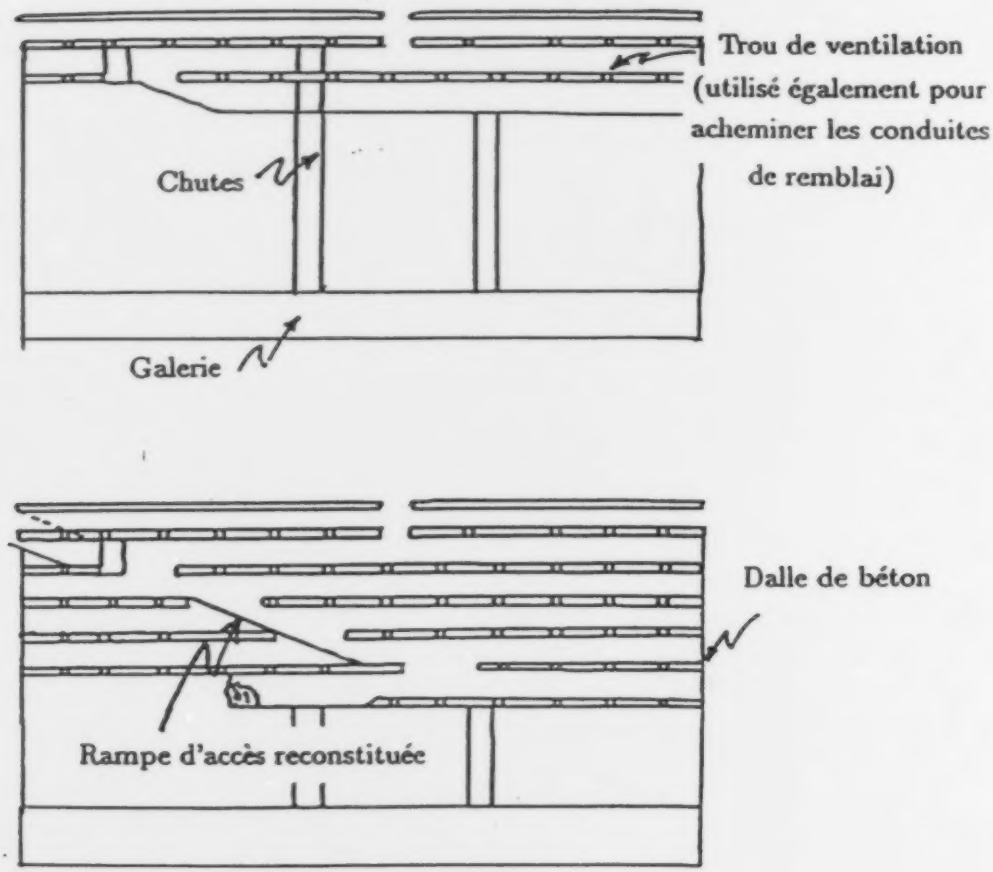


FIGURE 3.2
Armature de la dalle de béton utilisé dans les mines du siège minier du Fraisse.

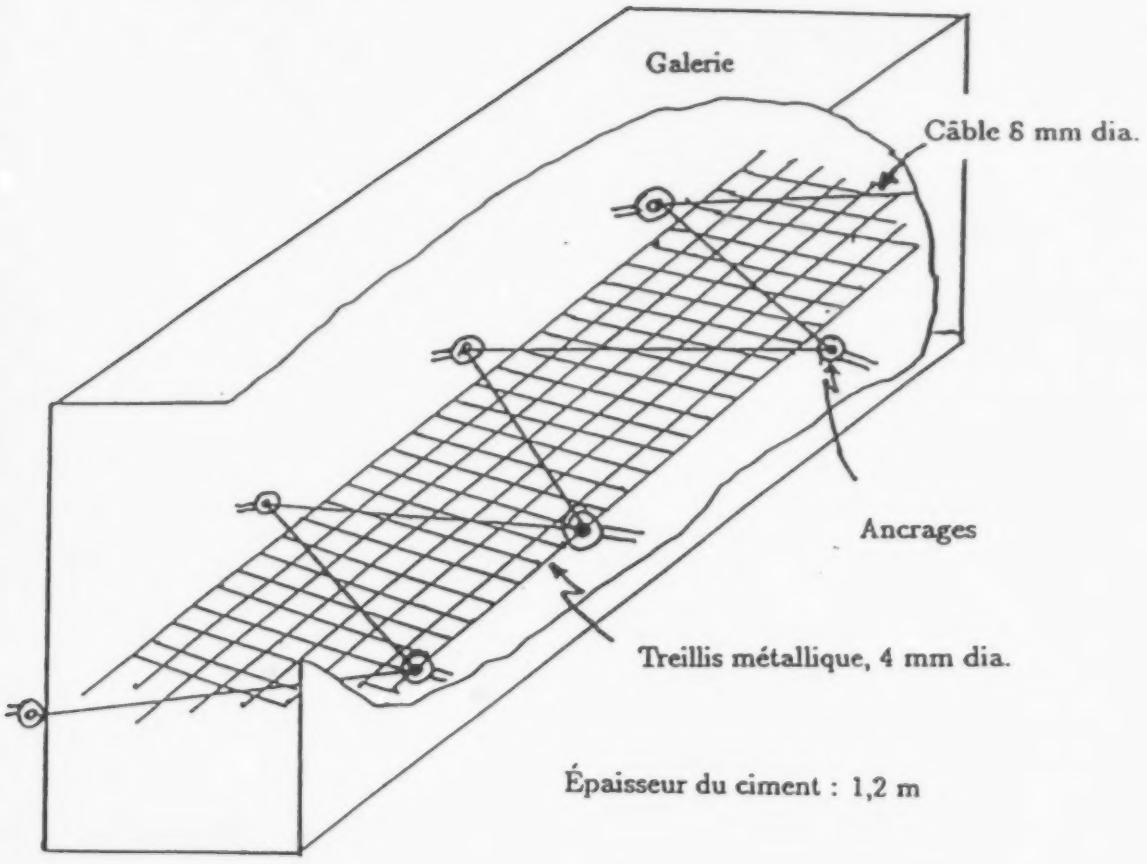


FIGURE 3.3
Méthode de minage par coupe et remblai descendante
pratiquée à la mine Cluff.

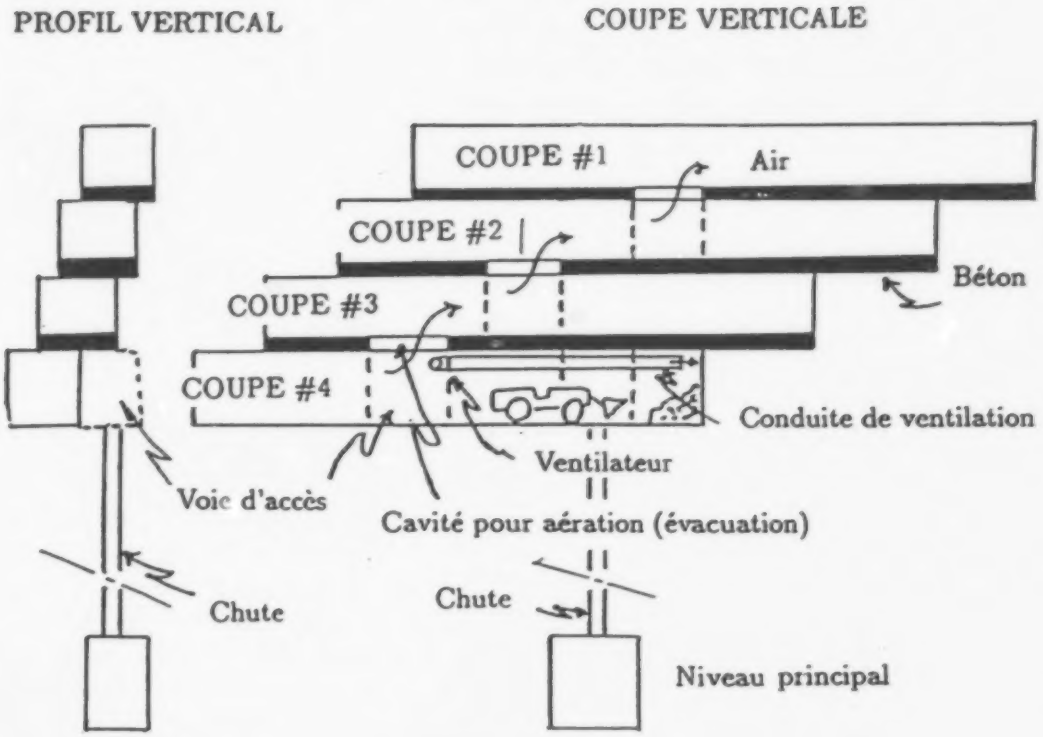
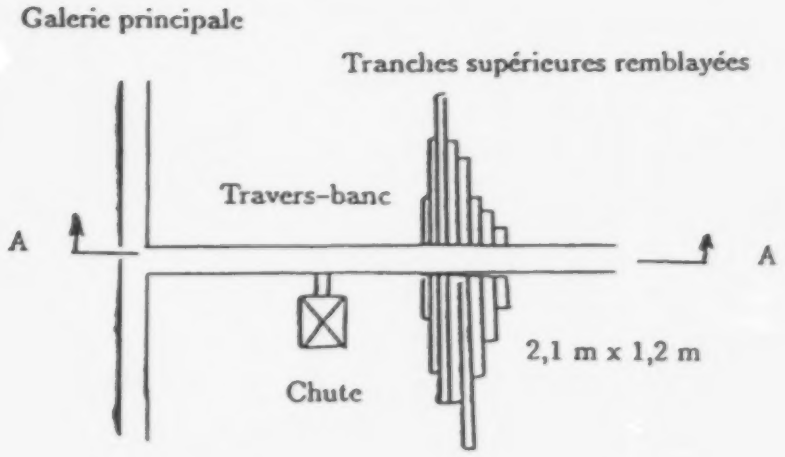


FIGURE 3.4
Vue en plan et en coupe du gisement de la mine Apex(17).

VUE EN PLAN



COUPE A-A

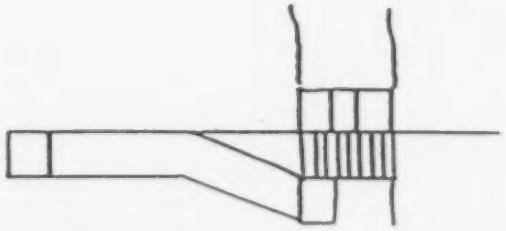


FIGURE 3.5
Méthode à double sautage utilisée à la mine Renison.

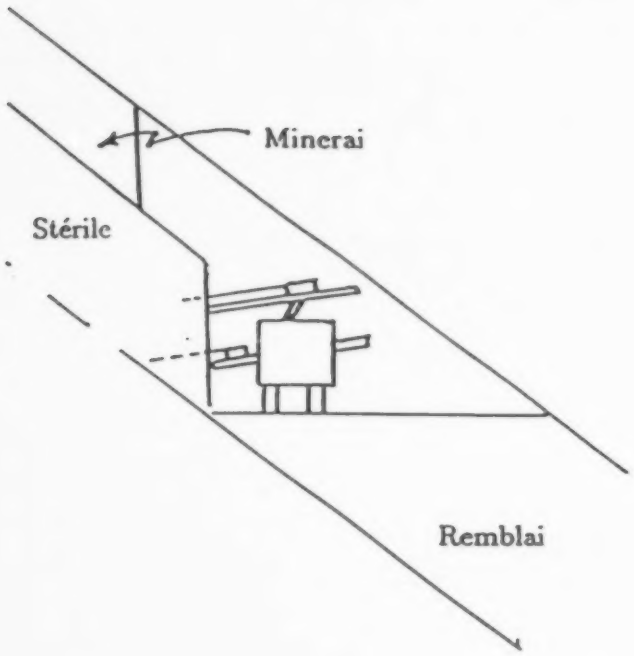


FIGURE 3.6
Minage à double sautage (resuing) utilisé à la mine Dome.

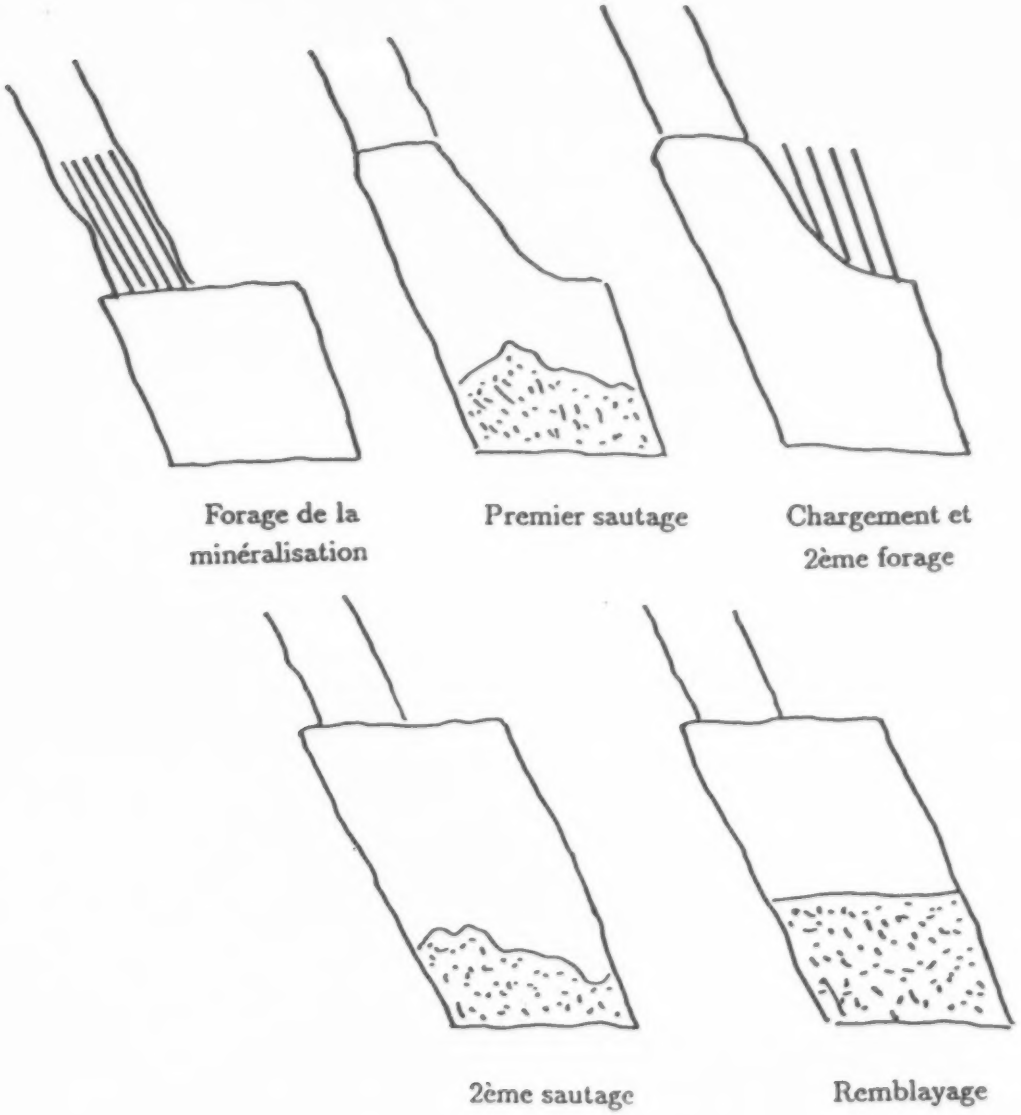
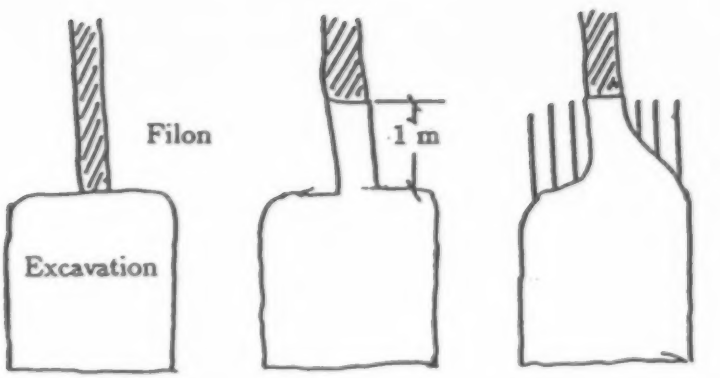


FIGURE 3.7
Minage à l'aide du brise roche hydraulique, utilisé à la mine de Leucamp.



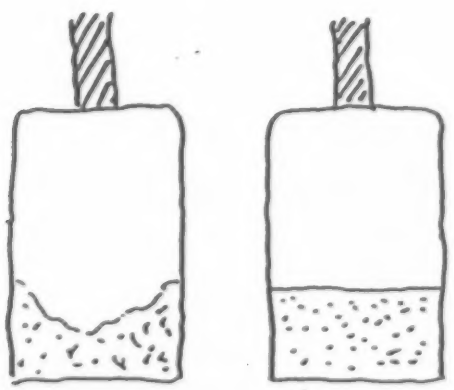
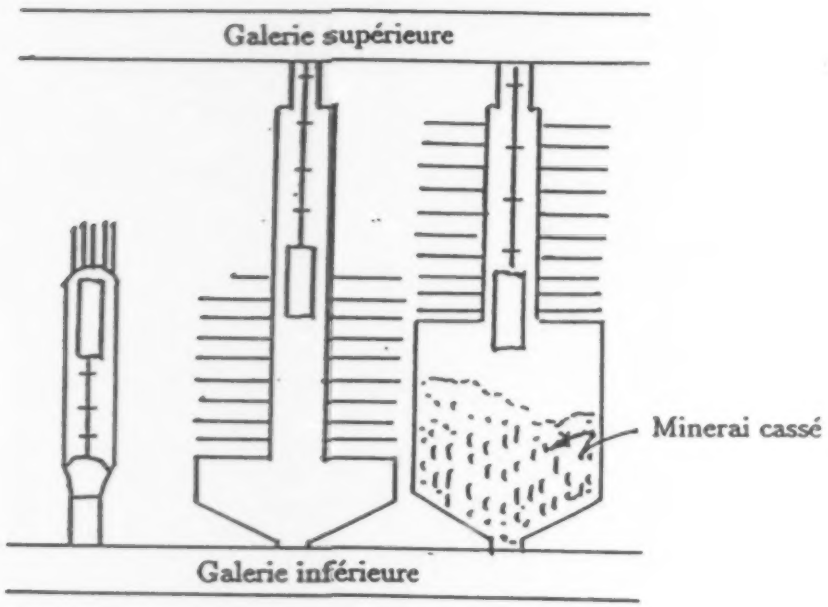



FIGURE 3.8
Méthode Alimak.